

Texte
50
04
ISSN
0722-186X

Länderübergreifende Auswertung von Daten der Boden- Dauerbeobachtung der Länder

**Umwelt
Bundes
Amt** 

Für Mensch und Umwelt

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 201 71 244
UBA-FB 000726



Länderübergreifende Auswertung von Daten der Boden- Dauerbeobachtung der Länder

von

Dr. Gerd Huschek

Dr. Dietmar Krengel

Institut für Umweltschutz und Qualitätssicherung,
Dr. Krengel GmbH (IUQ)

in Zusammenarbeit mit

Dr. Matthias Kayser

IUQ Dr. Krengel GmbH

Dipl.-Ing. agr. Albrecht Bauriegel

LGR Brandenburg

Dr. Heinz Burger

Freie Universität Berlin, FR Geoinformatik

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
<http://www.umweltbundesamt.de>
verfügbar.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und
Vollständigkeit der Angaben sowie für
die Beachtung privater Rechte Dritter.
Die in dem Bericht geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Tel.: 030/8903-0
Telex: 183 756
Telefax: 030/8903 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet II 4.2
Anne Mieke
Beate Werner

Berlin, Dezember 2004

1. Berichtsnummer UBA-FB	2.	3.
4. Titel des Berichts Länderübergreifende Auswertung von Daten der Boden-Dauerbeobachtungsflächen der Länder		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Huschek, Gerd; Krengel, Dietmar	8. Abschlussdatum 20.02.2004	
	9. Veröffentlichungsdatum	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Institut für Umweltschutz und Qualitätssicherung Dr. Krengel GmbH (IUQ), NL Potsdam Konsumhof 1-5 D-14482 Potsdam	10. UFOPLAN-Nr. 201 71 244	
	11. Seitenzahl 104	
	12. Literaturangaben 26	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, 14191 Berlin	13. Tabellen und Diagramme 27	
	14. Abbildungen 33	
	15. Zusätzliche Angaben	
16. Zusammenfassung Anhand der Daten der Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) der Länder konnte ein einheitlicher länderübergreifender Bericht zum Bodenzustand an den Boden-Dauerbeobachtungs-Standorten im Sinne einer Statuserhebung erstellt werden. Die in den Bundesländern erhobenen Daten der BDF wurden in einem bundesweiten Datensatz zusammengetragen, nach der 4. Kartieranleitung (KA 4) harmonisiert und nach den Vorgaben der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV, 1999) ausgewertet. Die vorgenommenen Auswertungen belegen, dass sich BDF-Datensätze unterschiedlicher Herkunft zur Beschreibung des Bodenzustandes zusammenführen lassen, wenn Mindestanforderungen an Inhalt und Qualität der Daten konsequent eingehalten werden. Im Einzelnen erfolgten detaillierte statistische Auswertungen mit den Flächendaten der BDF zu den Schwermetallgehalten, zu P_{gesamt} , C_{org} , TC und TN differenziert nach Bodennutzung, Bodenarten-Hauptgruppen und den Bodenausgangs-gesteins-Gruppen nach UTERMANN et al. (1999). Für die vorgenommenen statistischen Auswertungen waren die Verteilungsfunktionen der logarithmierten Werte aller Schwermetallgehalte des länderübergreifenden Datensatzes angenähert normal. Die tiefenorientierte statistische Auswertung und Bewertung der anorganischen Schadstoffgehalte in Oberböden erfolgte nach den Vorsorgewerten der BBodSchV, Tab 4.1: Vorsorgewerte für Metalle, unter Berücksichtigung der Bodenarten-Hauptgruppen in Form von Box-Whisker-Plots. Sie zeigen die Variabilität der Schwermetallgehalte differenziert nach den Vorgaben der BBodSchV (1999) auf. Die Medianwerte der Schwermetallgehalte lagen erwartungsgemäß unter den Vorsorgewerten der BBodSchV. Eine Ausnahme bildete Quecksilber für die Bodenarten-Hauptgruppe Sand, hier liegt der Median beim Vorsorgewert. Generell trat wie erwartet eine Abstufung der Schwermetallgehalte bei den Bodenarten-Hauptgruppen Sand < Lehm/Schluff < Ton auf. Zur Darstellung der räumlichen Verteilung wurden die Stoffgehalte der BDF-Standorte in verschiedenen Übersichtskarten Deutschlands in Punktform unter Berücksichtigung von Klassifizierungen und nach den Kriterien für die Standortauswahl nach BARTH et al. (2001) "BDF mit Standortrepräsentanz" und „BDF mit Belastungsrepräsentanz“ dargestellt. Eine ausführliche statistische Betrachtung des BDF-Datensatzes wurde vorgenommen, um zukünftig mit den BDF-Daten zeitliche Veränderungen des Bodenzustands in Deutschland erfassen zu können.		
17. Schlagwörter Boden, Schadstoffgehalte, Bodenkundliche Kartieranleitung, Schwermetalle, BDF		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB	2.	3.
4. Report Title Cross national analysis of Soil Monitoring Sites data – Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) - of the Federal Länder		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Huschek, Gerd; Krengel, Dietmar	8. Report Date 20.02.2004	
6. Performing Organisation (Name, Address) Institute of Environment and Quality Assurance Dr. Krengel Ltd (IUQ), branch Potsdam Konsumhof 1-5 D-14482 Potsdam	9. Publication Date	
	10. UFOPLAN-Ref. No. 201 71 244	
	11. No. of Pages 104	
	12. No. of Reference 26	
7. Funding Agency (Name, Address) Umweltbundesamt (Federal Environmental Agency) Postfach 33 00 22, 14191 Berlin	13. No. of Tables, Diagrams 27	
	14. No. of Figures 33	
15. Supplementary Notes		
16. Abstract On the basis of soil monitoring sites - Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) - in the Federal Länder a cross national report was generated. It describes the soil situation on the soil monitoring sites as a baseline for monitoring analysis about the development and changes of soils in time as a basis for necessary prognoses can be made about future developments. The detailed soil BDF-data were collected, harmonized by the German soil taxonomy, 4th edition (KA4) and analyzed in respect to the precautionary or limit values of soil protection audience (BBodSchV, 1999). The data analysis showed that the "Concept for the Installation of Soil monitoring Sites" is practicable for cross national analyses on soil status if basic requirements of content and quality were respected. Based on the BDF-data presently country-wide available heavy metals, P_{total}, N_{total}, C_{org} and C_{total} in topsoils were analyzed by statistic programs differentiated according to soil use, soil main groups and dominant soil textures. The statistical analysis and evaluation of inorganic pollutant values of BDF were carried out in topsoils and compared with the precautionary values of heavy metals listed in the BBodSchV, table 4.1 in consideration of the soil type main groups in form of box Wisker plots. As expected the medians of the concentration levels of the heavy metals were below the precautionary values of BBodSchV (1999). For the heavy metals following concentration gradient for the soil main groups was observed: sand < loam/slit < clay. Different general maps of Germany were generated to build up the topological distribution of the concentration levels of the selected inorganic compounds and elements. The graphical description of the concentration levels were took up in point form in respect to the site selection criteria described by BARTH et al. (2001) "BDF with site representivity" and "BDF with burden representivity". A comprehensive statistical analysis of BDF-data was carried out to detect changes of soil in time in the future.		
17. Keywords soil, pollutants, heavy metal, soil monitoring sites, soil taxonomy, pollutant concentration		
18. Price	19.	20.

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDEMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

- BODENSCHUTZ -

FORSCHUNGSBERICHT 201 71 244

Länderübergreifende Auswertung von Daten
der Boden-Dauerbeobachtung der Länder

von

Dr. Gerd Huschek und

Dr. Dietmar Krengel

Institut für Umweltschutz und Qualitätssicherung

Dr. Krengel GmbH (IUQ)

in Zusammenarbeit mit

Dr. Matthis Kayser, IUQ Dr. Krengel GmbH

Dipl.-Ing. agr. Albrecht Bauriegel, LGR Brandenburg

Dr. Heinz Burger, Freie Universität Berlin, FR Geoinformatik

IM AUFTRAG
DES UMWELTBUNDESAMTES

Juni 2004

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG UND VERANLASSUNG	11
2	ZIELE DES FORSCHUNGSVORHABENS	13
2.1	Projektablaufplan	15
3	DIE BODEN-DAUERBEOBACHTUNGSPROGRAMME DER LÄNDER UND ANDERE BODENZUSTANDSBEZOGENE INVENTUREN.....	17
3.1	Charakteristika der Boden-Dauerbeobachtung	17
3.2	Vergleichbare bodenzustandsbezogene Programme und Inventuren	21
3.2.1	<i>Forstliches Monitoring, Level II-Programm</i>	21
3.2.2	<i>Ableitung von Hintergrundwerten</i>	23
4	KONZEPT DER LÄNDERÜBERGREIFENDEN AUSWERTUNG DER BDF.....	25
4.1	Status der Einrichtung und des Betriebs der Boden- Dauerbeobachtung in den Ländern.....	26
4.2	Parameterauswahl	28
4.3	Harmonisierung der Datensätze	32
4.4	Überblick über die im Projekt verwendeten Daten der BDF	35
4.5	Aufbau einer Microsoft-Access-2000 Datenbank.....	37
5	LÄNDERÜBERGREIFENDE HARMONISIERUNG DER BODENKUNDLICHEN DATEN	42
5.1	Harmonisierung der Stammdaten nach KA 4.....	43
5.2	Harmonisierung der bodensystematischen Einheiten nach KA 4	44
5.3	Harmonisierung der Koordinaten der BDF.....	47
5.4	Überprüfung der Auswahl bodenkundlicher Parameter unter Berücksichtigung der Anforderungen der BBodSchV	47

6	ERGEBNISÜBERSICHT ZU DEN HARMONISIERTEN LÄNDERÜBERGREIFENDEN DATEN	49
6.1	Übersicht über BDF-Standorte	49
6.2	Nutzung, Bodenarten-Hauptgruppen und Bodenausgangsgesteins- Gruppen	51
7	ERGEBNISSE DER DESKRIPTIVEN STATISTIK FÜR DIE LÄNDERÜBERGREIFENDE AUSWERTUNG VON BODENPARAMETERN.....	56
7.1	Schwermetall-, Kohlenstoff- und Nährstoffgehalte	58
7.1.1	<i>Darstellung der Stoffgehalte im Oberboden differenziert nach der Nutzung.....</i>	<i>59</i>
7.1.2	<i>Standortbezogene Darstellung der Stoffgehalte im Oberboden der BDF.....</i>	<i>61</i>
7.1.3	<i>Vergleich der Stoffgehalte bei Differenzierung nach Nutzung und Bodenarten-Hauptgruppen</i>	<i>72</i>
7.1.4	<i>Vergleich der Stoffgehalte bei Differenzierung nach Bodenausgangsgesteinsgruppen (BAG-Gruppen).....</i>	<i>80</i>
7.2	Statistische Betrachtungen zum BDF- Monitoring	88
8	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN, WEITERER HANDLUNGSBEDARF	94
9	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE.....	99
10	LITERATUR.....	102

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 :	Beispiele für das Design zur Flächenprobenahme von Böden der BDF	19
Abb. 2 :	Überblick über die Verfügbarkeit von Parameterdaten der Länder in Abhängigkeit von der Anzahl der BDF in Menge und % nach SPATZ (2001).	30
Abb. 3 :	Microsoft-Access-2000-Formular zur Darstellung der BDF-Daten der Länder.	38
Abb. 4 :	Datenblatt „KW/ICP mg/kg“ zur Darstellung der Schwermetallgehalte nach Königswasserextraktion (KW) und ICP-Bestimmung.	39
Abb. 5 :	Datenblatt „Parameter / Verfahren“ zur horizontbezogenen Darstellung der Stoffgehalte für den jeweiligen Parameter mit Einheit, angewandter Methode und verwendeter Norm.	40
Abb. 6 :	Formular „Compound“ zur parameterbezogenen Darstellung der Stoffgehalte der BDF mit Einheit, angewandter Methode und verwendeter Norm.	41
Abb. 7 :	Profilbeschreibung einer BDF nach Eingabe in die BDF-Datenbank.	43
Abb. 8 :	Stufen der Aggregierung auf Horizontebene von der Bodenartenuntergruppe zur Horizont-Substrat-Kombination.	44
Abb. 9 :	Schematischer Aufbau der boden- und substratsystematischen Einheit nach KA 4.	45
Abb. 10 :	Harmonisierungserfolg am Beispiel der C-Horizonte.	46
Abb. 11 :	Verteilung der BDF-Standorte nach dem Kriterium Nutzung für die Standortauswahl nach BARTH et al. (2001).	53
Abb. 12 :	Verteilung der BDF-Standorte nach den Kriterien der Standortauswahl nach BARTH et al. (2001).	54
Abb. 13 :	Verteilung der BDF-Standorte entsprechend den BAG-Gruppen nach UTERMANN et al. (1999), vergleiche Tab. 6 auf S. 34.	55

Abb. 14 : Schwermetallgehalte (Mediane) in [mg/kg-TM] und für Hg und Cd in [µg/kg-TM] sowie der Kohlenstoff- und Nährstoffgehalte in [Masse-%] im Oberboden differenziert nach den Nutzungsarten Acker, Forst und Grünland.	60
Abb. 15 : Standortbezogene Pb-Gehalte im Oberboden differenziert nach Nutzung in mg/kg-TM der BDF.	63
Abb. 16 : Standortbezogene Cd-Gehalte im Oberboden differenziert nach Nutzung in µg/kg-TM der BDF.	64
Abb. 17 : Standortbezogene Cr-Gehalte im Oberboden differenziert nach Nutzung in mg/kg-TM der BDF.	65
Abb. 18 : Standortbezogene Cu-Gehalte im Oberboden differenziert nach Nutzung in mg/kg-TM der BDF.	66
Abb. 19 : Standortbezogene Hg-Gehalte im Oberboden differenziert nach Nutzung in µg/kg-TM der BDF.	67
Abb. 20 : Standortbezogene Ni-Gehalte im Oberboden differenziert nach Nutzung in mg/kg-TM der BDF.	68
Abb. 21 : Standortbezogene Zn-Gehalte im Oberboden differenziert nach Nutzung in mg/kg-TM der BDF.	69
Abb. 22 : Standortbezogene Kohlenstoff-Gehalte TC und C _{org} im Oberboden in Masse-% der BDF.	70
Abb. 23 : Standortbezogene Stickstoff-Gehalte (TN) im Oberboden in Masse-% der BDF.	71
Abb. 24 : Schwermetallgehalte (Mediane) von Cr, Cu, Ni, Pb und Zn im Oberboden in [mg/kg-TM] differenziert nach der Hauptnutzung und den Bodenarten-Hauptgruppen.	75
Abb. 25 : Schwermetallgehalte (Mediane) im Oberboden in [mg/kg-TM], für Hg und Cd in [µg/kg-TM] differenziert nach der Hauptnutzung und den Bodenarten-Hauptgruppen.	76
Abb. 26 : Kohlenstoff- und Nährstoffgehalte (Mediane) im Oberboden in [Masse-%] differenziert nach der Hauptnutzung und den Bodenarten-Hauptgruppen.	77

Abb. 27 : Box-Whisker-Plots der Schwermetallgehalte (Mediane) Cu und Cd im Oberboden in [mg/kg-TM] und für Hg und Cd in [µg/kg-TM] differenziert nach den Bodenarten-Hauptgruppen. Erläuterung in Abb. 28 und im Text.	78
Abb. 28 : Box-Whisker-Plots der Schwermetallgehalte (Mediane) Ni, Pb und Zn im Oberboden in [mg/kg-TM] differenziert nach den Bodenarten-Hauptgruppen.	79
Abb. 29 : Vergleich der Stoffgehalte (Mediane) von Cr, Cu, Ni, Pb und Zn in [mg/kg-TM] im Oberboden in Bezug zur Nutzung und den BAG-Gruppen TST, SMM und KST. Links: die BDF-Werte, rechts die Ergebnisse nach LABO (2003).	85
Abb. 30 : Vergleich der Stoffgehalte (Mediane) von Cr, Cu, Ni, Pb und Zn in [mg/kg-TM] im Oberboden in Bezug zur Nutzung und den BAG-Gruppen LÖS, SAN und BMM. Links: die BDF-Werte, rechts die Ergebnisse nach LABO (2003).	86
Abb. 31 : Vergleich der Cd und Hg-Gehalte (Mediane) in [µg/kg-TM] im Oberboden bei verschiedenen BAG-Gruppen. Links: die BDF-Werte, rechts die Ergebnisse nach LABO (2003).	87
Abb. 32 : Visueller Vergleich von Verteilungsfunktionen (Details s. Text).	90
Abb. 33 : PP-Plots von log(Pb) im Oberboden. Links: Nutzung Forst; rechts: Nutzung Grünland.	93

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 :	Standort- und horizontbezogene Aufnahmedaten nach KA 4.	20
Tab. 2 :	Bezugsgrößen für anorganische und organische Stoffe in Böden nach LABO (2003).	24
Tab. 3 :	Anzahl der auswertbaren BDF-Standorte der Länder nach SPATZ (2001) und aus diesem Projekt.	27
Tab. 4 :	In der Konzeption der BDF vorgeschlagene, obligate, bodenkundliche Untersuchungsparameter (BARTH et al., 2001).	29
Tab. 5 :	Liste der Parameter für die länderübergreifende Auswertung.	31
Tab. 6 :	Übersicht der zu Gruppen zusammengefassten Bodenausgangsgesteine der LE der Bodenübersichtskarte (BÜK 1000) nach UTERMANN et al. (1999).	34
Tab. 7 :	Übergebene und ausgewertete Datensätze der Parameter pro BDF-Standort und Bundesland, Anzahl in Abhängigkeit von der Aggregation durch die Länder	36
Tab. 8 :	Harmonisierter BDF-Datensatz zur Auswertung von Parameterdaten.	42
Tab. 9 :	Beispiel für die Anwendung der KA 4-Schlüssellisten auf Nutzungsangaben der Länder.	43
Tab. 10 :	Harmonisierungsbeispiel für verschiedene Horizont-Substrat-Kombinationen.	46
Tab. 11 :	Übersicht über die in den Auswertungen verwendeten Datensätze der BDF-Standorte in Ergänzung zu Tab. 7 .	50
Tab. 12 :	Verteilung der Hauptnutzungsarten auf die BDF-Standortdaten.	51
Tab. 13 :	Vorhandene Datensätze für die ausgewählten Parameter der BDF-Datenbank.	56
Tab. 14 :	Variationsbreite der Bestimmungsgrenzen in der BDF-Datenbank.	57
Tab. 15 :	Mediane der Schwermetallgehalte (Einheiten in mg/kg-TM, bei Hg und Cd in µg/kg-TM) im Oberboden differenziert nach den Nutzungsarten Acker, Forst und Grünland.	59

Tab. 16 : Mediane der Kohlenstoff- und Nährstoffgehalte im Oberboden in [Masse-%] differenziert nach den Nutzungsarten Acker, Forst und Grünland.	60
Tab. 17 : Stoffgehalte (Mediane) der Schwermetalle in [mg/kg-TM] und für Hg und Cd in [µg/kg-TM] im Oberboden differenziert nach Standort- oder Belastungs-Repräsentanz.	61
Tab. 18 : Schwermetallgehalte (Mediane) im Oberboden in [mg/kg-TM], für Hg und Cd in [µg/kg-TM] differenziert nach der Nutzung Acker und den Bodenarten-Hauptgruppen.	73
Tab. 19 : Nährstoffgehalte (Mediane) im Oberboden in [Masse-%] differenziert nach der Nutzung Acker und den Bodenarten-Hauptgruppen.	73
Tab. 20 : Schwermetallgehalte (Mediane) im Oberboden in [mg/kg-TM], für Hg und Cd in [µg/kg-TM] differenziert nach der Nutzung Forst und den Bodenarten-Hauptgruppen.	73
Tab. 21 : Kohlenstoff- und Nährstoffgehalte (Mediane) im Oberboden in [Masse-%] differenziert nach der Nutzung Forst und den Bodenarten-Hauptgruppen.	74
Tab. 22 : Schwermetallgehalte (Mediane) im Oberboden in [mg/kg-TM], für Hg und Cd in [µg/kg-TM] differenziert nach der Nutzung Grünland und den Bodenarten-Hauptgruppen.	74
Tab. 23 : Kohlenstoff- und Nährstoffgehalte (Mediane) im Oberboden in [Masse-%] differenziert nach der Nutzung Grünland und den Bodenarten-Hauptgruppen.	74
Tab. 24 : Schwermetallgehalte differenziert nach BAG-Gruppen und Nutzung für Cd und Hg in [µg/kg-TM] sowie Cr, Cu, Ni, Pb und Zn in [mg/kg-TM].	82
Tab. 25 : 95% Vertrauensgrenzen für die Medianwerte der Schwermetallgehalte im Oberboden.	90
Tab. 26 : 95%-Vertrauensgrenzen U95 und O95 für die Mediane von Pb im Oberboden für die Nutzung Forst (F) und Grünland (G).	91
Tab. 27 : Ordnungszahlen für das untere Vertrauensintervall für den Median für Datenzahlen n im Bereich, der im BDF-Programm zu erwarten ist (Signifikanzniveau $\alpha = 5\%$ und 1%).	92

Abkürzungen

AG Boden	Bund-/Länder-Arbeitsgruppe Boden
BAG	Bodenausgangsgestein
BAG 1000	Karte der Bodenausgangsgesteine im Maßstab 1:1.000.000
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes-Boden- und Altlastenverordnung
BD	Boden-Dauerbeobachtung
BDF	Boden-Dauerbeobachtungsflächen
BDL	Bundesland
	BB Brandenburg
	BE Berlin
	BW Baden-Württemberg
	BY Bayern
	HH Hamburg
	HE Hessen
	MV Mecklenburg-Vorpommern
	NI Niedersachsen
	NRW Nordrhein-Westfalen
	RP Rheinland-Pfalz
	SH Schleswig-Holstein
	SL Saarland
	SN Sachsen
	ST Sachsen-Anhalt
	TH Thüringen
BFH	Bundesanstalt für Forst- und Holzwirtschaft
BG	Bestimmungsgrenze
BOART_HGR	Bodenarten-Hauptgruppe
	S Sand
	L/S Lehm/Schluff
	T Ton

BZE	Bodenzustandserhebung Wald
BÜK 1000	Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:1.000.000
critical loads	dauerhaft verträgliche Eintragsmengen
EPA	Environmental Protection Agency – Umweltbehörde USA
GOF	Geländeoberfläche (Tiefenlage Grundwasserspiegel)
ICP-AES	Atomemissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma
HGW	Hintergrundwert
KA 4	Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Auflage
KW	Königswasserextraktion
LABO	Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
LE	Legendeneinheiten
Level II	Intensivmessstandorte Wald für Waldschadensermittlung
LGRB	Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg
Median	eine Größe der Statistik, ist der <i>mittelste Wert</i> nach einer Rangordnung
OCP	Organochlorpestizide
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
SM	Schwermetalle
TK25	Topografische Karte, Maßstab 1: 25 000
TM	Trockenmasse
WSE	Waldzustandserhebung

1 Einleitung und Veranlassung

Der Erhalt der Bodenfunktionen ist das vorrangige Ziel des Bodenschutzes. Dies erfordert die Überprüfung und Beobachtung des Bodenzustandes sowohl auf Länderebene als auch länderübergreifend auf Bundesebene.

Als ein wichtiges Instrument der Vorsorge wird dabei die Boden-Dauerbeobachtung (BD) angesehen. Diese dient zur Beschreibung des aktuellen Zustands der Böden, zur langfristigen Überwachung der Veränderung von Bodenzustand und Bodenfunktionen und zur Ableitung von Prognosen der zukünftigen Entwicklung im Sinne des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG). Damit unterscheidet sich die BD wesentlich von der einfachen Standortaufnahme nach der 4. Kartieranleitung (KA 4; AG BODEN, 1996), die vor allem auf die bodenkundliche Charakteristik der Böden und ihren Ausgangszustand hinsichtlich der natürlichen und ubiquitär beeinflussten Stoffausstattung ausgerichtet ist.

Vor allem in den alten Bundesländern wurde bereits seit 1986 begonnen, Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) einzurichten und zu unterhalten. In den neuen Bundesländern begann die Einrichtung der BDF Anfang der neunziger Jahre. Zu diesem Zeitpunkt waren Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) und Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) jedoch noch nicht in Kraft getreten, dies erfolgte erst 1998 und 1999. Die Einrichtung der BDF erfolgte daher größtenteils nach landesspezifischen Programmen, die sich nach den bei der Einrichtung jeweils gültigen Vorgaben richteten, ebenso der Betrieb der bundesweit mittlerweile ca. 800 BDF.

Die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) hat bereits 1991 ein Konzept zur Einrichtung sowie zum Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen erstellt (SAG, 1991), um eine Vereinheitlichung der Programme zu ermöglichen. Diese erste Fassung behandelt vor allem die Einrichtung der BDF.

Um auch den einheitlichen Betrieb der BDF zu fördern und Aktualisierungen hinsichtlich der Einrichtung zu berücksichtigen, wurden in einer „ad hoc-AG BDF“ der LABO Empfehlungen für die Einrichtung und den Betrieb der BDF zwischen den Ländern abgestimmt und veröffentlicht (BARTH et al. 2001). Seit Ende der 90-iger Jahre dienen diese Empfehlungen als eine bundesweit einheitliche, harmonisierte Richtlinie zur Einrichtung und zum Betrieb von BDF. Die dort beschriebene Merkmals- und Prozessdokumentation eignet sich zur frühzeitigen Erfassung von Bodenveränderungen.

Sie wird je nach der im Vordergrund stehenden Bodenfunktion bzw. deren Empfindlichkeit gegenüber Veränderungen in unterschiedlichem Maße berücksichtigt. Mit dieser Richtlinie wurde eine Grundlage geschaffen, die Daten der Länder aus den landesspezifischen Programmen zur Boden-Dauerbeobachtung in einen länderübergreifenden Datensatz zusammenzuführen.

Aufgrund seiner Zuständigkeit für die Umweltberichterstattung des Bundes hat das Umweltbundesamt im Jahr 2001 das vorliegende Forschungsprojekt in Auftrag gegeben. Ziel der Aktivitäten des Umweltbundesamtes ist es, mittelfristig auch Aussagen zum Zustand der Böden bundesweit für Deutschland treffen zu können. In dem vorliegenden Forschungsprojekt sollten dafür zunächst Modalitäten zum Status der Erhebungen bzgl. der Einführung der BD, zur Harmonisierung der Methoden, zum Datentransfer sowie zu den Möglichkeiten für länderübergreifende Auswertungen geprüft werden.

Von besonderem Interesse ist dabei, ob mit dem länderübergreifenden Datensatz derzeit eine Auswertung zu aktuellen gesetzlichen Bezügen möglich ist, insbesondere zur Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV, 1999). Ein weiterer Aspekt ist die Schaffung eines einheitlichen Ausgangspunktes (Baseline) für die länderübergreifende Auswertung von in Zeitreihen vorhandenen Daten der Länder, die für Trendanalysen genutzt werden können.

Der damit verbundene Datenaustausch, -zugriff und -schutz der BDF-Daten der Länder ist in der von der Umweltministerkonferenz verabschiedeten Verwaltungsvereinbarung zwischen Bund und Ländern über den Datenaustausch im Umweltbereich Anhang II 4, (VwV Datenaustausch, 1994) geregelt. Auch hier ist dargelegt, dass der Datenaustausch zwischen Bund und Ländern erforderlich ist, um räumlich differenzierte Kenntnisse über Beschaffenheit und Eigenschaften des Bodens, Einwirkungen auf den Boden sowie über das Ausmaß schädlicher Bodenveränderungen zu gewinnen und auszutauschen. Ferner sind nachfolgend aufgeführte Aufgaben aus dem Bereich Umweltdokumentation und Umweltberichterstattung zur Umsetzung der bundesweiten Darstellung des Bodenzustandes in der VwV Datenaustausch festgehalten:

- Schaffung der Grundlagen für Trendaussagen;
- Erfolgskontrolle von Maßnahmen im Umweltschutz;
- Harmonisierung der Datenerhebung zur länderübergreifenden Vergleichbarkeit der Daten sowie Erarbeitung und Validierung von Auswertungsmethoden;

- Umweltdokumentation und Aufklärung der Öffentlichkeit in Umweltfragen gemäß § 2 Abs. 1 Nr. 2 des Gesetzes über die Errichtung eines Umweltbundesamtes sowie zur Umweltberichterstattung (z.B. im Rahmen von Daten zur Umwelt);
- Erstellung von Berichten und Mitteilungen des Bundes an internationale Organisationen (z.B. EU, EUA, OECD), soweit diese nicht von den Ländern direkt übermittelt werden;
- Erstellung von Übersichten im Rahmen der Berichterstattung zu internationalen Übereinkommen (z.B. Bodenschutzprotokoll zur Alpenkonvention).

2 Ziele des Forschungsvorhabens

In der Verwaltungsvereinbarung zwischen Bund und Ländern über den Datenaustausch im Umweltbereich, Anhang II 4, (VwV DATENAUSTAUSCH, 1994) wurden die allgemeinen Rahmenbedingungen des Datenaustausches für den Bereich Boden festgelegt. Für den Annex 3 „Daten von Boden-Dauerbeobachtungsflächen“ konnten zum damaligen Zeitpunkt (1994) noch keine detaillierten Rahmenbedingungen formuliert werden, da noch keine Erfahrungen auf diesem Gebiet vorlagen.

In einer Vorläuferstudie des Umweltbundesamtes zu „Möglichkeiten der länderübergreifenden Auswertung an Standorten der Boden-Dauerbeobachtung“ (FKZ 299 71 234) waren zunächst die BDF-Metadaten der Länder mit Stand des Jahres 1999 erfasst worden (SPATZ, 2001). Das Vorhaben hat Informationen bezüglich des vorhandenen Datenumfanges und der Möglichkeiten einer länderübergreifenden Auswertung zusammengefasst.

Das vorrangige Ziel dieses Projektes war es nun, die Daten der Länder aus den Programmen der Boden-Dauerbeobachtung zusammenzuführen.

Im 1. Schritt musste dafür der Status der Erhebungen der Boden-Dauerbeobachtung überprüft und Modalitäten für den Datentransfer entsprechend der VwV Datenaustausch erarbeitet werden.

Im 2. Schritt sollten die vorliegenden Daten der Erstbeprobung der Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) der Länder nach erfolgter Harmonisierung in einen einheitlichen BDF-Datensatz überführt werden. Die Harmonisierung bestand in der Umrechnung/Übertragung der Daten aus der 3. in die 4. bodenkundliche Kartieranleitung (KA 4; AG BODEN, 1996). Dieser Schritt war notwendig, weil einige Daten nach der KA 3 vorhanden waren, andere nach der KA 4.

Weiterhin sollte im Lauf der Datenübergabe der Länder auch geprüft werden, mit welchem Datenumfang nach den heute gültigen Maßstäben (vgl. Kapitel 3) noch gearbeitet werden kann, da in einigen Ländern inzwischen Umstrukturierungen stattgefunden haben und sowohl neue BDF eingerichtet als auch manche bestehenden nicht weitergeführt wurden.

Mit den sich daraus ergebenden Bedingungen sollten im 3. Schritt beispielhafte länderübergreifende Auswertungen durchgeführt werden. Dabei waren auch die Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung der BDF-Daten für einen Vergleich mit den aktuellen gesetzlichen Bodenwerten (z.B. Einhaltung der Vorsorgewerte der BBodSchV) zu überprüfen. Für die Auswertung von zukünftigen Zeitreihen mit den in der BDF-Konzeption nach BARTH et al. (2001) festgelegten Parametern (z. B. Stoffgehalte der Schwermetalle) sollten zudem Vorschläge erarbeitet und diskutiert werden, mit deren Hilfe sich zeitliche Veränderungen des Bodenzustandes in Deutschland nachweisen lassen (Trendanalysen). Im Sinne eines Monitoring sollen für Trendanalysen künftig die Flächendaten der BD verwendet werden. Ferner waren für zukünftige länderübergreifende Auswertungen Vorschläge zur Behebung festgestellter Defizite als Handlungsbedarf abzuleiten.

Länderbezogene Auswertungen und methodische Abstimmungen waren nicht Gegenstand dieses Projektes.

Als Eigentümer der BDF-Daten und als Vollziehende des BBodSchG sollten die Länder sowohl konzeptionell als auch zur Unterstützung der Datenauswertung in das Forschungsprojekt einbezogen werden. Deshalb wurde seitens des Umweltbundesamtes ein Projektbeirat gegründet, in dem die für Bodenfragen und für die BDF Verantwortlichen der Länder vertreten waren. Ferner wurde dieser Projektbeirat durch einen Vertreter des Forstlichen Monitoring Level II und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe unterstützt.

Der direkte Kontakt mit allen am Projektbeirat Beteiligten ermöglichte bei der Vielzahl an auftretenden Fragen kurze Bearbeitungszeiten. Wir möchten uns daher an dieser Stelle bei allen Beteiligten für die konstruktive Unterstützung und die gute Zusammenarbeit bedanken.

Dem Prinzip der Gegenseitigkeit entsprechend, stehen die beim Bund gehaltenen jeweiligen Daten der BDF nach Abschluss des Vorhabens den Ländern zur Bearbeitung bodenschutzrelevanter Fragen zur Verfügung.

2.1 Projektablaufplan

Zur Umsetzung der Aufgaben wurde eine Projektgruppe etabliert, die vom Forschungsnehmer, dem Institut für Umweltschutz und Qualitätssicherung Dr. Krengel GmbH, Niederlassung Potsdam (IUQ) geleitet wurde. Dieser Projektgruppe gehörten zur Bearbeitung von Detailaufgaben folgende Forschungs- und Landeseinrichtungen an:

- Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg (LGRB) - Herr Dipl.-Ing. agr. Albrecht Bauriegel für die Harmonisierung der Stammdaten der BDF nach KA 4
- Freie Universität Berlin – Herr Prof. Dr. Peckdecker, Herr Dr. Burger und Herr Dr. Winkler für die statistische Auswertung der Parameterdaten der BDF.

Diese Projektgruppe wurde von dem zuvor genannten Projektbeirat mit Vertretern aus Bund und Ländern unterstützt.

Aufbauend auf den Erkenntnissen von SPATZ (2001) wurde zu Beginn dieses Projektes seitens des Forschungsnehmers ein Konzeptpapier zur Übermittlung der BDF-Daten der Länder erstellt. Darin waren auch die zur Auswertung vorgesehenen Parameter auf der Grundlage der Richtlinien zu Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BARTH et al., 2001) und den Vereinbarungen der LABO „ad hoc AG BDF“ enthalten. Es zeigte sich jedoch bei näherer Überprüfung, dass die Auswertung aller ursprünglich vorgesehenen Parameter anhand der vorhandenen Datenlage nicht möglich war. Deshalb wurden die Parameter in Zusammenarbeit mit dem Projektbeirat auf das in diesem Forschungsprojekt Machbare eingegrenzt.

Dafür wurde zunächst eine Parameterliste (u.a. Stoffgehalte bestimmter Schwermetalle, Einzelheiten in Tab. 5) festgelegt. Anschließend wurden folgende beispielhafte Auswertungen als Teilziele des Vorhabens vorgegeben:

- Parameterorientierte Darstellung des Bodenzustandes (Ist-Zustand) der Oberböden, wobei die Kriterien zur Auswahl der Standorte (nach BARTH et al. 2001) zum jeweiligen Zeitpunkt der Einrichtung der BDF durch die Länder berücksichtigt werden sollten.
- Tiefenorientierte statistische Auswertung der Schadstoffgehalte in den Oberböden der BDF und deren Bewertung gemessen an den Vorsorgewerten der BBodSchV unter Berücksichtigung von Bodennutzung und Bodenarten-Hauptgruppe.

- Statistische Aus - und Bewertung der ausgewählten Parameter der BDF differenziert nach Bodennutzung und Bodenausgangsgesteins-Gruppen in ihrer Klassifikation nach UTERMANN et al. (1999) und Vergleich mit den von der LABO (2003) definierten Hintergrundwerten (HGW).
- Erstellen von Klassifizierungen bezüglich der Belastungssituation für ausgewählte Parameter unter Berücksichtigung des vorsorgenden und nachhaltigen Bodenschutzes.
- Räumliche Darstellung der Auswertungen in verschiedenen Übersichtskarten Deutschlands.

Ferner wurden die Modalitäten zum Datentransfer festgelegt. Die Parameterdaten der Länder wurden zusammen mit den standort- und horizontbezogenen Aufnahmedaten der BDF an die Projektgruppe digital übermittelt. Anschließend wurden die Daten entsprechend der KA 4 (AG BODEN, 1996) harmonisiert.

Die harmonisierten Daten wurden nach den Vorgaben der KA 4 in eine Access-2000-Datenbank überführt, datenbanktechnisch verknüpft und nach Übergabe durch die Länder geprüft. Mit dem dadurch einheitlich erzeugten BDF-Datensatz erfolgte danach eine länderübergreifende statistische Auswertung entsprechend den genannten Teilzielen.

Abschließend wurden in enger Zusammenarbeit mit dem Projektbeirat Handlungsempfehlungen für zukünftige länderübergreifende Auswertungen von BDF-Daten erarbeitet.

3 Die Boden-Dauerbeobachtungsprogramme der Länder und andere bodenzustandsbezogene Inventuren

Bodenuntersuchungen werden in den Ländern innerhalb des BDF-Programms und im Rahmen von bodenzustandsbezogenen Inventuren durchgeführt. Zu Letzteren gehören das Forstliche Untersuchungsprogramm zur Überwachung des Waldzustandes und das Programm zur Ableitung von Hintergrundwerten (HGW). Beide bodenzustandsbezogene Inventuren verfolgen bei den Bodenuntersuchungen einen bundesweit einheitlichen Ansatz. In den nachfolgenden Abschnitten wird das Konzept der Boden-Dauerbeobachtung beschrieben und mit den bodenkundlichen Inventuren verglichen.

3.1 Charakteristika der Boden-Dauerbeobachtung

Zum Erreichen der Ziele der Boden-Dauerbeobachtung (BD) nach BARTH et al. (2001):

- Beschreibung des aktuellen Zustandes der Böden
- langfristige Überwachung der Veränderungen der Böden und
- Ableitung von Prognosen der künftigen Entwicklung

werden Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) eingerichtet, die in eine Kernfläche und eine umgebende Randfläche unterteilt werden. Die Größe der BDF richtet sich nach der zeitlichen und räumlichen Beprobungsdichte, sie sollte jedoch mindestens 1000 m² bei neu einzurichtenden BDF betragen.

Die Kernfläche, bestehend aus verschiedenen Teilflächen, besitzt eine quadratische Form. Schürfgruben für die Profilbeschreibung nach KA 4 sowie die Durchführung von flächenzerstörenden Probenahmen und Messungen werden außerhalb der Kernfläche auf der umgebenden Randfläche angelegt. Zur Sicherstellung eines möglichst gleichförmigen Bodenprofilaufbaus hat eine bodenkundliche Kartierung gemäß der KA 4 vorab zu erfolgen. Zwecks Vergleichbarkeit der Daten ist eine einheitliche und gleichbleibende Nutzungsart zu gewährleisten.

Bei der Einrichtung einer BDF wird der aktuelle Zustand der Böden durch eine Standortaufnahme und eine Grundinventur der chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften festgestellt. Die anzulegende BDF-Kernfläche ist dabei für den Standort repräsentativ für die gesamte BDF. Im Rahmen eines durch die Bundesländer (SAG, 1991) festgelegten Monitoring-Programms sollen Veränderungen gegenüber dem festgestellten Zustand durch Wiederholungsuntersuchungen des Bodens nachgewiesen werden.

In Abhängigkeit von der Intensität des Bodenmonitorings unterscheidet man zwei Typen von BDF, die **Basis-BDF** zur Merkmalsdokumentation und die **Intensiv-BDF** zur Merkmals- und Prozessdokumentation (BARTH et al. 2001). Bei der Basis-BDF erfolgt die Dokumentation in der Regel periodisch ohne dauerhafte Installation von Messgeräten im Bodenkörper. Auf der Intensiv-BDF werden zusätzlich Stoffflüsse und Prozesse direkt in Böden erfasst. Hierzu ist eine Instrumentierung zur Dokumentation der Prozesse erforderlich.

Für die Auswahl der Standorte sind folgende Kriterien nach BARTH et al. (2001) festgelegt worden:

- **Landschaftsrepräsentanz** - BDF in charakteristischen bzw. flächenhaft vorherrschenden Landschaften.
- **Bodenrepräsentanz** – BDF auf Böden, die für die o.g. Landschaften bezüglich Ausgangsmaterial, Bodenbildung, Bodenwasser- und Bodenstoffhaushalt usw. als typisch anzusehen sind.
- **Nutzungsrepräsentanz** – BDF unter charakteristischer oder vorherrschender Nutzung und/oder unter regionalspezifisch vorherrschender Sondernutzung.
- **Belastungsrepräsentanz** – BDF in
 - a. Gebieten mit geogenen Besonderheiten
 - b. Gebieten mit anthropogenen Belastungseinfluss
 - c. unbelasteten bzw. diffus ubiquitär belasteten Gebieten.
- **Einbindung in bestehende oder geplante (Überwachungs-) Messnetze** und ökologische Beobachtungsgebiete.
- **Langfristige Verfügbarkeit der BDF.**

Zur Feststellung des aktuellen Zustandes und der Veränderungen der Böden werden bei der Einrichtung und dem Betrieb von BDF zwei verschiedene Probenahmeverfahren eingesetzt:

- Bodenprobenahmen in Schürfgruben und
- die flächenbezogene Beprobung des Oberbodens und der tieferen Bodenhorizonte auf der Kernfläche.

Bei der Probenahme der in der Abb. 1 dargestellten Beispiele für das Design zur Flächenprobenahme der BDF wird in der Schürfgrube randlich im engen räumlichen Bezug zur Kernfläche der BDF eine vollständige bodenkundliche Ansprache des Profils

zur Kennzeichnung und systematischen Einordnung mit horizontbezogener Beschreibung der pedogenen und Substratmerkmale vorgenommen. Dagegen dient die flächenbezogene Probenahme auf der Kernfläche zur Erfassung und Feststellung von Veränderungen im Boden. Sie ist im Gegensatz zur Probenahme in Schürfgruben im zeitlichen Verlauf wiederholbar. Dabei werden die Probenahmestellen innerhalb der Kernfläche verschoben, um ungestörte Bodenbereiche analysieren zu können. **Daher ist die flächenbezogene Entnahme von Bodenproben für die Boden-Dauerbeobachtung das zentrale Instrument.** Sie dient zur Feststellung der Entwicklung und der Veränderung der Böden. Die dort gewonnenen Daten bilden die Grundlage zur Durchführung von Trendanalysen.

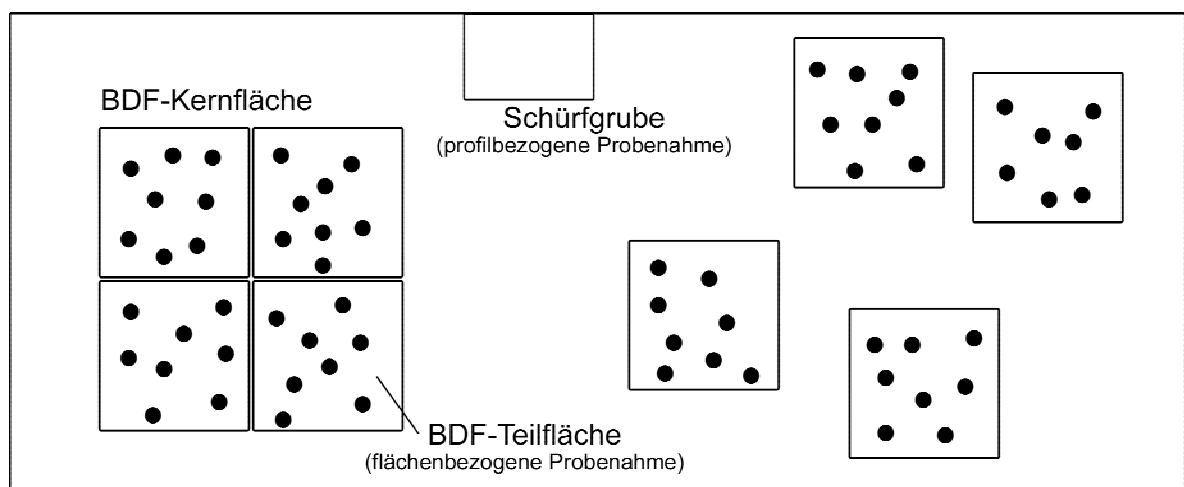


Abb. 1 : Beispiele für das Design der Flächenprobenahme von Böden der BDF

In den meisten Bundesländern wurde ein Normprofil (Schürfgrube) mit mehreren Teilflächen der BDF-Kernfläche bzw. Kollektiven zur Beprobung der BDF angelegt. Die Beschreibung der Profile und z. T. auch der Flächen erfolgte über die Tiefenvariation der Horizonte, denen die analytischen Befunde zugeordnet wurden. Tab. 1 gibt einen Überblick über die nach KA 4 dokumentierten Titel- und horizontbezogenen Daten. Zur Kennzeichnung und systematischen Einordnung des Bodenprofils ist eine horizontbezogene Beschreibung der pedogenen Merkmale und Substratmerkmale durch die Länder entsprechend der zeitlichen Entwicklung nach KA 3, KA 4 oder nach länderspezifischen Listen vorgenommen worden.

Die Probenahmen und die Bestimmung der Bodenparameter erfolgten in den Ländern hauptsächlich nach den Vorgaben der KA 3, KA 4 und der AG Boden (AG Boden, 1982; AG BODEN, 1996; BARTH et al., 2001).

Tab. 1 : Standort- und horizontbezogene Aufnahmedaten nach KA 4.

Einteilung	obligatorische Angaben	Zusatzangaben
Titeldaten	Name der Messstelle, Profil-Nr., TK25, Datum der Aufnahme, Bearbeiter (Name der Einrichtung), Rechtswert, Hochwert, Höhe NN, Aufschlussart	Bemerkungen
Aufnahmesituation	Relief (Neigung, Exposition, Wölbung, Reliefformtyp), Mikrorelief, Lage im Gelände	Metrische Angaben
	Bodenabtrag/-auftrag, Nutzungsart, Vegetation, Witterung, anthropogene Veränderungen	Schutz, Beeinträchtigungen
Horizontbezogene Daten	Horizontgrenzen (Untergrenze, Obergrenze, Form, Schärfe, Lage)	Bemerkungen
	Horizontsymbol, Bodenfarbe, Humus-/ Kohlegehalt, Karbonatgehalt, Bodenfeuchte	
	pedogene Merkmale, Hydromorphiemerkmale, sonstige pedogene Merkmale, Bodengefüge (Form u. Größe), effektive Lagerungsdichte, Substanzvolumen, Zersetzungsstufe, Durchwurzelungsintensität	
	Substratmerkmale (Substratsymbol, Geogenese, Bodenart / Torfart, Grobbodenfraktionen, Bodenausgangsgestein, Stratigraphie)	
	Daten zur Probenahme (Datum, Entnahmetiefen, Probennummern)	Substrat-inhomogenitäten
Systematische und typologische Einordnung des Profils	Bodensystematische Einheit, Substratsystematische Einheit, Humusform, Wasserstand unter GOF, Vernässungsgrad, Erosionsgrad, Bodenschätzung, Status	weitere Unterlagen, Bemerkungen

Die Probenahmeverfahren und -techniken haben maßgeblichen Einfluss auf das analytische Untersuchungsergebnis und somit auf die Vergleichbarkeit der Daten. Neben den oben zitierten Anleitungen zur Probenahme von Boden gelten z.Z. folgende Normen für die Probenahme: die DIN ISO 10381-2, -4, -5 sowie die DIN ISO 11464, auf die auch in den Richtlinien zu Einrichtung und Betrieb der BDF (BARTH et al., 2001) Bezug genommen wird.

In den Richtlinien wurden keine expliziten Vereinbarungen zu den Bestimmungsgrenzen oder Nachweisgrenzen getroffen. Im Prozess der Aufnahme der Daten, der sich je nach Bearbeitungsstand in den Ländern über einen längeren Zeitraum (ca. 15 Jahre) erstreckte, kommen jeweils die Bestimmungsgrenzen (BG) zum Tragen, die dem jeweiligen Stand der technischen Entwicklung entsprechen. Die Probleme, die sich daraus für das Projekt ergeben, werden in den Abschnitten 4 und 5 diskutiert.

3.2 Vergleichbare bodenzustandsbezogene Programme und Inventuren

Das nachfolgend beschriebene Forstliche Monitoring Level II sowie die Inventur zur Ableitung von Hintergrundwerten wurden aufgrund von teilweise bestehenden inhaltlichen Übereinstimmungen in das Projekt miteinbezogen.

Im Unterschied zu den Zielen der Boden-Dauerbeobachtung bezieht sich das Forstliche Monitoring Level II insbesondere auf das Verständnis von Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen atmosphärischen Einträgen und der Entstehung von Waldschäden und ermöglicht damit Berechnungen von Critical Loads, vgl. ICP FORESTS (1998). Dazu werden obligatorisch im Rahmen des Level II auch Bodenzustandserhebungen durchgeführt, die auch Bestandteil des Level I sind. Zusammen mit den Erhebungen des Kronenzustandes werden diese zur Beobachtung von Strukturveränderungen im Boden verwendet. Der Messstandard der Dauerbeobachtung auf dem Level II ist vergleichbar mit dem der Intensiv-BDF. Deshalb wurden in diesem Forschungsprojekt Daten des Level II für diejenigen Länder eingesetzt, die über keine BDF verfügen. Die Daten wurden dankenswerter Weise durch die Bundesanstalt für Holz- und Forstwirtschaft (BFH) zur Verfügung gestellt und entsprechend dem BDF-Standard aufbereitet.

Für die Ableitung von Hintergrundwerten wurde durch die LABO ein Konzept zur länderübergreifenden bodenkundlichen Auswertung entwickelt (LABO, 1999). In ersten länderübergreifenden Testauswertungen wurden die Möglichkeiten und Grenzen der Vergleichbarkeit mit den dort beschriebenen Ansätzen überprüft.

3.2.1 Forstliches Monitoring, Level II-Programm

Ursachen der Waldschäden wirken länderübergreifend. Deshalb wurde 1985 von der Europäischen Union und der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen ein europaweites Programm Forst ins Leben gerufen. Seit 1986 werden der Waldzustand und seine Entwicklung in den Programmen der UN/ECE und, - im europäischen Maßstab der EU-Kommission, überwacht. Gegenwärtig sind 36 europäische Staaten, die USA und Kanada an diesen Programmen beteiligt.

Es wurde ein mehrstufiges aufeinander abgestimmtes Untersuchungsprogramm mit unterschiedlichen Intensitätsebenen (Level) entwickelt, da nicht nur direkte Reaktionen auf Umweltveränderungen, sondern auch langfristige Folgen und Wechselwirkungen in Waldökosystemen von Bedeutung sind. Das forstliche Programm umfasst drei Stufen:

- Erhebungen auf einem systematischen Stichprobennetz, das flächenrepräsentative Informationen über den Waldzustand und dessen Entwicklung bereitstellt (Level I) mit Durchführung der Bodenzustandserhebung Wald (BZE),
- Intensive Untersuchung der Ursache-Wirkungsbeziehungen zwischen Waldökosystemen und den sie beeinflussenden Faktoren auf Dauerbeobachtungsflächen (Level II),
- Waldökosystemforschung zur Synopse und Erweiterung der bisher verfügbaren Kenntnisse zu Prozessabläufen.

Sowohl bei der Waldzustandserhebung (WZE) als auch im Basisnetz der ökologischen Waldzustandskontrolle werden nur Zustandserhebungen (Kronenzustand, Ernährungszustand, Zuwachs und Bodenzustand) durchgeführt, die im Ursache/Wirkungsgefüge für die Waldgesundheit relevante Größen darstellen. Für den Boden werden daher im Forstmonitoring insbesondere der Versauerungszustand, aber auch Humuszustand und Kohlenstoffgehalte untersucht. Zur Feststellung der Ursachen der Waldschäden wurde innerhalb des Gesamtkonzeptes „Forstliches Umweltmonitoring“ im Jahr 1994 europaweit die Einführung einer weiteren Intensitätsstufe (Level II) beschlossen. Dazu wurden Dauerbeobachtungsflächen mit dem Ziel eingerichtet, wesentliche ökosystemare Einflussgrößen wie z.B. Luftverunreinigungen, klimatische und andere Stressfaktoren sowie deren Wirkungen an repräsentativ ausgewählten Waldökosystemen zu untersuchen.

Im Hinblick auf die Vielzahl der beteiligten Länder und unterschiedlicher Institutionen wurde als Voraussetzung für die europaweite Vergleichbarkeit der Daten bzw. Ergebnisse eine genaue Festlegung der Methodik vorgenommen. Dementsprechend sind sämtliche Methoden des Programms – von der Erhebung genau definierter, charakteristischer Parameter im Gelände bis hin zur Analyse im Labor – in umfangreichen Manualen festgelegt, vgl. ICP FOREST (1998). Sie werden ständig mit Blick auf den technischen und wissenschaftlichen Fortschritt überprüft und auf nationaler und internationaler Ebene harmonisiert.

Auf einer Dauerbeobachtungsfläche mit einer Mindestgröße von 0,25 ha werden langfristig Beobachtungen zu vielen Teilbereichen des Ökosystems Wald vorgenommen. Im Unterschied zur Waldzustandserhebung (WSE) ist hier nicht die räumliche Verteilung, sondern die thematische Komplexität und die Information zu ökosystemaren Prozessen

das Hauptziel der Beobachtungen. Das Dauerbeobachtungsflächenprogramms Level II beinhaltet folgende Erhebungen: Baumkronenzustandserhebung, Nadel/Blatt-Analysen, Depositionsmessungen, ertragskundliche Holzzuwachsmessungen, Bodenlösungsanalysen, Meteorologische Messungen sowie möglicherweise auch Bodenvegetationserfassungen. Das umfangreiche Untersuchungsprogramm gliedert sich in kontinuierliche und periodische Messungen. Die Entnahme von Boden- und Humusproben für chemische Analysen erfolgt tiefenbezogen. Nadel- und Blattuntersuchungen sind ebenfalls Bestandteil des Programms (ICP FOREST, 1998).

Detaillierte Angaben zur Methodik der Probenahme, Probenaufbereitung und Analytik sind dem "Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest, Part I" (ICP FOREST, 1998) zu entnehmen. Die wichtigsten chemischen Parameter sind:

- pH-Werte (H_2O bzw. KCl in der organischen Auflage und im Mineralboden),
- C_{org} - und N-Gehalte von Nadel-, Humusaufgabe- und Mineralbodenproben,
- Bestimmung der Gehalte von K, Mg, Ca, Mn, Al, Fe, S, P, Pb, Cu, Zn, Cd in Humus- und Nadelproben,
- Effektive Kationenaustauschkapazität von Mineralbodenproben.

Von den europaweit eingerichteten 860 Level II Dauerbeobachtungsflächen stellt die Bundesrepublik Deutschland 89 Flächen. Die Standorte der Dauerbeobachtungsflächen Level II repräsentieren nicht unbedingt den Wald insgesamt. Sie sind gezielt an Standorten mit typisch verbreiteten Waldökosystemen oder Wachstumsbedingungen eingerichtet oder nach Verfügbarkeit von Beobachtungsdaten zu Vergangenheitszeiträumen festgelegt worden.

3.2.2 Ableitung von Hintergrundwerten

Hintergrundwerte sind nach der Begriffsbestimmung der LABO (2003) repräsentative Werte für allgemein verbreitete Hintergrundgehalte eines Stoffes oder einer Stoffgruppe in Böden. Der Hintergrundgehalt eines Bodens setzt sich zusammen aus dem geogenen Grundgehalt eines Bodens und der ubiquitären Stoffverteilung als Folge diffuser Einträge in den Boden. Hintergrundwerte für Böden beruhen auf den ermittelten Hintergrundgehalten und bezeichnen unter Angabe der statistischen Kenngrößen sowie der Bezugsgrößen Ausgangsgestein der Bodenbildung, Bodenhorizont, Nutzung und Gebietsdifferenzierung die repräsentativen Stoffkonzentrationen in Böden (LABO, 2003).

Für die Ermittlung von Hintergrundgehalten und die Ableitung von Hintergrundwerten für Böden empfiehlt die LABO (2003) folgende Stoffe prioritär zu berücksichtigen:

anorganische Stoffe: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Sb, Tl, Zn

organische Stoffe: PCB₆, PAK₁₆, B(a)P, HCH, HCB, PCDD/F.

Im Jahr 1995 wurden erstmals bundesweite und länderspezifische Hintergrundwerte für Böden vorgelegt, die einen Überblick über ubiquitäre Gehalte an Schwermetallen und persistenten organischen Schadstoffen in Böden geben. Mit den 1995 und 1998 veröffentlichten Berichten wurden Hintergrundwerte zunächst für den Oberboden und die organische Auflage von Waldböden angegeben. Im Jahr 2003 erfolgte durch die LABO die Veröffentlichung von Hintergrundwerten für Unterböden (LABO, 2003).

Grundlegende Voraussetzung für die Aufstellung aussagefähiger bundesweiter und länderspezifischer Hintergrundwerte ist eine Differenzierung nach den in Tabelle 2 dargestellten Bezugsgrößen.

Tab. 2 : Bezugsgrößen für anorganische und organische Stoffe in Böden nach LABO (2003).

	Bodenhorizonte		
	Auflagehorizont	Oberboden	Unterboden / -grund
Anorganische Stoffe			
Ausgangsgestein	o	x	x
Nutzungsart	x	x	o
Gebietstyp	x	x	x
Organische Stoffe			
Ausgangsgestein	-	-	-
Nutzungsart	x	x	-
Gebietstyp	x	x	-

x = empfohlene Differenzierung / **o** = i.d.R. keine Differenzierung / **-** = keine Differenzierung

Die Bodenprobenentnahme sollte grundsätzlich horizontbezogen erfolgen. Metrische Entnahmetiefen sind darüber hinaus zur Unterteilung mächtigerer Bodenhorizonte und bei unscharfen / geringmächtigen Horizonten in Oberböden unter Wald zulässig. Für die zukünftige Erhebung von Hintergrundgehalten sind zudem die in der BBodSchV, Anhang 1 festgeschriebenen Verfahren und Methoden zu beachten. Die von den Ländern

aus ihren jeweiligen Programmen zur Bestimmung von Hintergrundgehalten abgeleiteten Hintergrundwerte sind in einer gemeinsamen Veröffentlichung zusammengetragen worden (LABO, 2003).

4 Konzept der länderübergreifenden Auswertung der BDF

Der Stand zur Einrichtung und zum Betrieb der BDF wurde in einem vorab durchgeführten Projekt bei den Ländern abgefragt und als Metadaten dokumentiert (SPATZ, 2001). Diese Abfrage bildete gemeinsam mit den Informationen über den aktuellen Stand der Programme in den Ländern die Grundlage für das Konzept der länderübergreifenden Auswertung der BDF.

Zunächst wurden in Zusammenarbeit mit dem Projektbeirat Parameter ausgewählt und Modalitäten zum Datentransfer festgelegt. Zur Vorbereitung der eigentlichen Auswertung ist überprüft worden, in wieweit die bodenkundlichen Daten der BDF der Länder für die Zwecke einer länderübergreifenden Auswertung vergleichbar sind und welche Angleichungen vorgenommen werden müssen. Dabei bildete die bodenkundliche Kartieranleitung der AG Boden mit der vierten verbesserten und überarbeiteten Auflage (KA 4; AG BODEN, 1996) die Grundlage für die Harmonisierung der bodenkundlichen Bezüge. Mit den dort definierten Schlüssellisten konnte eine einheitliche Klassifikation der Daten der Länder vorgenommen werden.

Der bei den Ländern abgefragte Datenumfang orientiert sich an den Zielen der länderübergreifenden Auswertung. Von besonderem Interesse war dabei, ob mit dem länderübergreifenden Datensatz derzeit eine Auswertung zu aktuellen gesetzlichen Bezügen möglich ist, insbesondere zur BBodSchV (1999). Ein weiterer Aspekt ist die Vereinheitlichung solcher Daten, die in Zeitreihen vorliegen und daher für Trendanalysen genutzt werden können.

4.1 Status der Einrichtung und des Betriebs der Boden-Dauerbeobachtung in den Ländern

Als erstes wurde der aktuelle Stand der BD in den Ländern ermittelt. Die Programme der Boden-Dauerbeobachtung in den Ländern wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten begonnen. Einige Programme (z.B. in Bayern) existierten schon seit Mitte der 80iger Jahre, bevor die Regelungen zur Einrichtung und zum Betrieb der BDF Anfang der 90iger Jahre abgestimmt wurden. In einigen Ländern, vor allem in den neuen Bundesländern, wurde je nach den landeseigenen Kapazitäten mit der Einrichtung und dem Betrieb der BDF erst Anfang der 90iger Jahre begonnen. Die Erstuntersuchungen an den Standorten der BDF sind bis zum heutigen Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen. Daher mussten zunächst alle Daten aus einer Zeitspanne von 15 Jahren überprüft werden, um den aktuellen Status der BD ermitteln zu können. Auch die vorgenommenen bodenkundlichen Bezüge der Länder für die BDF lagen in unterschiedlicher Form vor. Die Standorte wurden sowohl nach den Schlüssellisten der 3. Kartieranleitung (KA 3; AG BODEN, 1982) für die in den achtziger Jahren eingerichteten BDF als auch mit eigenen länderbezogenen Schlüssellisten kartiert. Ein Abgleich mit den aktuellen Schlüssellisten der KA 4 (1996) war für eine länderübergreifende Auswertung unabdingbar.

In Tabelle 3 ist die Zahl der im Projekt ausgewerteten Standorte in Deutschland dargestellt. Der Vergleich mit den als Metadaten gemeldeten BDF des Vorläuferprojektes (SPATZ, 2001) zeigt, dass Standorte neu eingerichtet bzw. in einigen Fällen auch deren Anzahl reduziert wurden, z.B. in Baden-Württemberg. Differenzen traten zudem auf, da nicht für alle BDF Daten zu den relevanten Parametern vorlagen. Diese Standorte wurden im Projekt nicht berücksichtigt.

Bei den mitausgewerteten UBA-Standorten handelt sich um elf Standorte in den neuen Ländern, deren Daten aus Erhebungen aus dem Jahr 2000 stammen (HUSCHEK & KAYSER 2002). Allerdings haben diese Standorte nicht die Struktur einer BDF nach BARTH et al. (2001). Sie wurden an den Luftmessnetzstandorten des UBA eingerichtet und in das Forschungsprojekt einbezogen, weil diese Standorte nach der KA 4 kartografiert und entsprechend den nach BARTH et al. (2001) aufgeführten Parametern untersucht wurden. Für die bodenkundliche Dokumentation der Standorte nach KA 4 sind an den jeweiligen Messnetzstationen ein Profil gegraben und im Umkreis von 2 km weitere Sondierungen oder Schürfe sondiert bzw. gegraben worden.

Tab. 3 : Anzahl der auswertbaren BDF-Standorte der Länder nach SPATZ (2001) und aus diesem Projekt.

Bundesland	BDF nach Spatz (2001)	Anzahl der BDF im Projekt	Differenz
BB	36	30	-6
BE	3	3	
BW	160	33	-127
BY	248	252	+4
HH	3	3	
HE	59	67	+8
MV	17	19	+2
NI	90	69	-21
NRW	20	22	+2
RP	16	7	-9
SH	34	34	
SL	11	11	
SN	38	26	-8
ST	40	14**	-26
TH	19	22	+3
UBA*	45	11	-34
Gesamt	839	624	-215

* Luftmessnetzstandorte des UBA zur Feststellung von luftgetragenen Depositionen in Böden

** weitere BDF und Daten wurden nach Redaktionsschluss des Datentransfers übermittelt

Zusammengefasst ergibt sich für den länderübergreifenden Vergleich folgender Sachstand:

- 15 Bundesländer wurden in die BDF-Auswertung einbezogen.
- 13 Länder erfüllten die Vorgaben zum Einrichten und zum Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen nach BARTH et al. (2001).
- Insgesamt 624 BDF-Standorte wurden in die Auswertung einbezogen. Die Differenz in der Anzahl der BDF dieses Projektes zu der nach Spatz (2001) ist hauptsächlich auf die Reduzierung von Standorten in verschiedenen Ländern zurückzuführen.
- Die Länder Berlin und Rheinland-Pfalz verfügen über keine regulären BDF. Deshalb wurden für diese beiden Länder die Standorte des Level II-Programms Forst in die Auswertung aufgenommen (Beschluss des Projektbeirates).

Die Standorte aus dem Level II-Programm Forst anderer Länder fanden auf Beschluss des Projektbeirates keine Berücksichtigung bei der Auswertung. Diese Daten sind im Rahmen von Forstuntersuchungsprogrammen bereits ausgewertet worden und waren aufgrund methodischer Unterschiede in der Erhebung nicht direkt vergleichbar mit den BDF-Daten. Die Daten der Level II-Standorte von RP und Berlin wurden für die Auswertung vorab nach der KA 4 harmonisiert.

Für die Erhebung der Baseline der BDF (Ermittlung des Ist-Zustands) als Ausgangsbasis für spätere Trendanalysen wurden nur die Daten der ersten Beprobung der von den Ländern bis Ende April 2003 gemeldeten BDF in den Auswertungen berücksichtigt.

4.2 Parameterauswahl

Die AD-HOC-AG „Boden-Dauerbeobachtung“ der LABO (BARTH et al., 2001) hat in ihrer Konzeption zur Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen eine Reihe von obligatorisch zu bestimmenden Parametern vorgeschlagen. Durch vergleichbare Erhebungen in jedem Bundesland sollte eine länderübergreifende Auswertung bezüglich der Veränderung des Bodenzustandes ermöglicht werden. Diese Konzeption wurde in diesem Forschungsprojekt berücksichtigt. Die in der Tabelle 4 aufgeführten Parameter sind im Anhang II 4 Annex 3 der Verwaltungsvereinbarung zum Datenaustausch zwischen Bund und Ländern enthalten (VwV DATENAUSTAUSCH, 1994).

In der Liste der obligatorischen bodenphysikalischen und bodenchemischen Untersuchungsparameter der Tab. 4 sind sowohl bezugsbildende Parameter, d.h. notwendige beschreibende Basisparameter, als auch von diesen abhängige Parameter aufgeführt. Die bodenphysikalischen Parameter werden zur Validierung der Daten, zur Beschreibung des Transportverhaltens und zur Berechnung von Stoffvorräten über die Rohdichte benötigt (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1998). Zur Bestimmung der Bodenart wird die Untersuchung der Korngrößenzusammensetzung genutzt. Die Ermittlung und die Verteilung des Anteils der wasserspeichernden Poren im Boden erfolgt über die Wasserretentionsfunktion (pF-Funktion). Transportvorgänge des Bodenwassers können im wassergesättigten Zustand des Bodens mit dem k_f -Wert beschrieben werden.

Die in der Tab. 4 ausgewiesenen Stoffparameter wurden bei den Ländern abgefragt. Nach der Sichtung der Parameterdaten zeigten sich erste Defizite für einzelne Parameter. Diese bestanden zum Einen in der geringeren Anzahl der übermittelten Daten pro BDF und Parameter im Vergleich zu den Datensätzen der Metadaten nach Spatz (2001) und zum Anderen in der Qualität der Daten, vor allem bei den organischen Schadstoffen.

Tab. 4 : In der Konzeption der BDF vorgeschlagene, obligate, bodenkundliche Untersuchungsparameter (BARTH et al., 2001).

Parameter-gruppe	Nr.	Bodenparameter <i>Abkürzung</i>	Einheit	Bedeutung
Bodenphysik	1	Korngrößen	Masse-%	Basis für Filter- und Puffereigenschaften
	2	Rohdichte, trocken <i>dB</i>	g/cm ³	Bodenverdichtung, Basis für Basis für Filter- und Puffereigenschaften
	3	Festsubstanzdichte <i>dF</i>	g/cm ³	Berechnung des Porenraumes
	4	Porengrößenverteilung <i>pF</i>	cm ³ /cm ³ Vol.-%	Wasser- und Stofftransport
	5	Wasserleitfähigkeit, gesättigt <i>k_f</i>	cm/d	Stoffverlagerung, Bodenverdichtung, Grundwasserschutz
Bodenchemie	6	pH-Wert (CaCl ₂) <i>pH</i>	log[H ⁺]	Versauerung, Basis für Stoffdynamik, Biologie
	7	totaler Kohlenstoffgehalt <i>C_t</i>	Masse-%	Humusdynamik, Ermittlung von C/N, Bewertung von z.B. Austauschkapazität
	8	organischer Kohlenstoffgehalt <i>C_{org}</i>	Masse-%	Humusdynamik, Bewertung von z.B. Bodenmikrobiologie
	9	totaler Stickstoffgehalt <i>N_t</i>	Masse-%	Ermittlung von C/N, Bewertung von z. B. Bodenmikrobiologie
	10	Karbonatgehalt <i>CaCO₃</i>	Masse-%	Gefüge, Stoffdynamik
	11	potenzielle bzw. effektive Kationenaustausch- kapazität, austauschbare Kationen (Ca, Mg, Na, K, H-Wert) <i>KAK_{pot}</i> , <i>KAK_{eff}</i>	cmolc/kg	Puffereigenschaften, Nährstoffversorgung, Stoffhaushalt
	12	Elementgehalte (Ca, Mg, Fe, K, Mn, P, S)	mg/kg-TM	Nährstoffversorgung, verknüpft mit KAK, pH, Bodenwasser
	13	Schwermetalle (Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Pb, As, Zn)	mg/kg-TM	Schadstoffbelastung, verfügbare Gehalte nicht obligat, nur soweit vorhanden
organische Bodenchemie	14	Radionuklide (¹³⁷ Cs, ¹³⁴ Cs)	mg/kg-TM	Schadstoffbelastung
	15	Chlorpestizide (<i>HCB</i> , <i>α-</i> , <i>β-</i> , <i>γ-</i> , <i>δ-HCH</i> , <i>DDD</i> , <i>DDT</i> , <i>DDE</i>)	mg/kg-TM	Schadstoffbelastung
	16	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (16 <i>PAK</i> nach EPA)	mg/kg-TM	
Bodenbiologie	17	Mik. Biomasse	µg C _{mik} /g- TM	Bodenfruchtbarkeit, Stoffumsatz
	18	Mik. Basalatmung	µg CO ₂ - C/(g*h)-TM	

Aus dem Bericht von SPATZ (2001) ergab sich folgender in der Abb. 2 dargestellter Überblick über die Verfügbarkeit der Parameterdaten der Länder in Abhängigkeit von der Anzahl der BDF in Menge und %. Die Ergebnisse zu den Metadaten zeigten, dass auf keiner BDF alle von der LABO Ad-hoc-AG (BARTH et al., 2001) vorgegebenen Parameter erhoben werden. Die Übersicht bildete die Grundlage für die Datenabfrage zu den Parametern bei den Ländern.

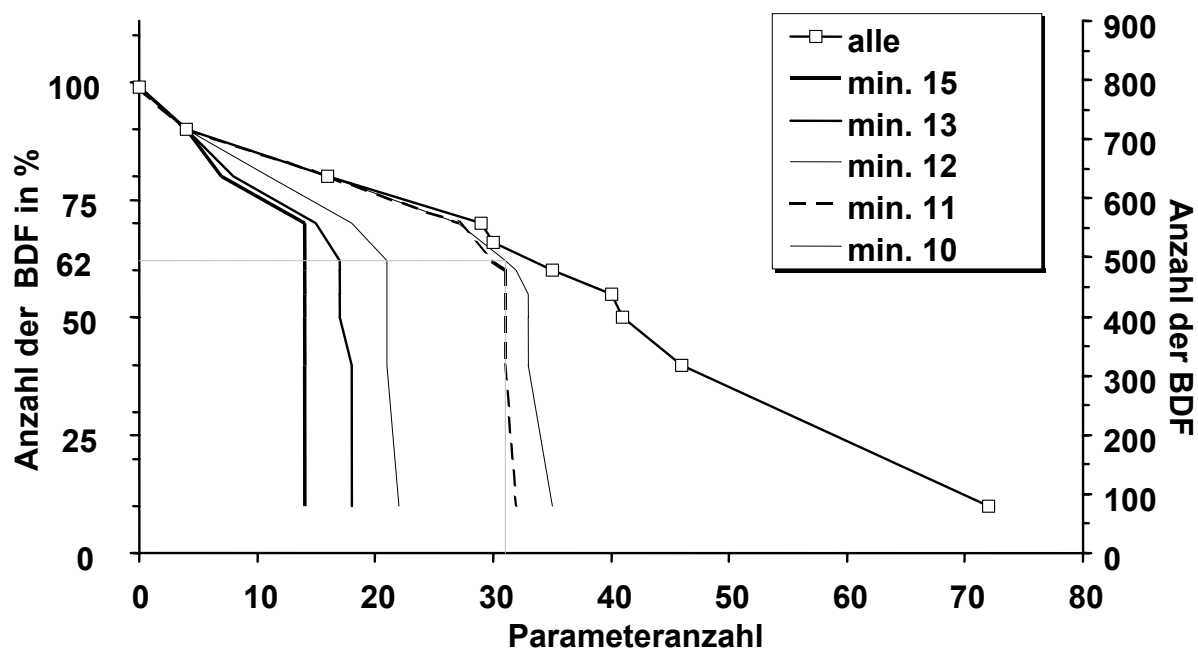


Abb. 2 : Überblick über die Verfügbarkeit von Parameterdaten der Länder in Abhängigkeit von der Anzahl der BDF in Menge und % nach SPATZ (2001).

Bedingt durch die große Untersuchungszeitspanne lagen bei den Ländern sehr heterogene Datensätze vor, vor allem für die Untersuchungsparameter zur Analyse organischer Schadstoffgehalte entsprechend der BBodSchV (1999, s. Tab. 5). Für die Parameter der Stoffgruppe der Organochlorpestizide (OCP) mit den Einzelsubstanzen Hexachlorbenzol, PCP, Aldrin, DDT, HCH-Gemisch und PCB₆ wurden zu ca. 95 % Analysenwerte kleiner der Bestimmungsgrenze ausgewiesen. Die in der Tab. 5 der BBodSchV aufgeführten Parameter sind nicht von allen Ländern untersucht worden. Meist erfolgte nur eine Untersuchung für eine Tiefenstufe pro Standort, empfohlen wird die flächenbezogene Probenahme aus den Bodenhorizonten nach BARTH et al. (2001). Für die PAK₁₆ nach EPA (Tab. 5 der BBodSchV (1999)) waren nur von einigen Ländern Daten übermittelt worden. Bei den meisten Ackerflächen wurden zudem überhaupt keine PAK bestimmt. Für eine länderübergreifende Auswertung müsste hier ein Abgleich der untersuchten Parameter und der verwendeten Methoden vorgenommen werden.

Für die biologischen Parameter (keine obligatorischen Parameter nach BARTH et al., 2001) standen insgesamt nur 162 Datensätze für Basalatmung und Biomasse zur Verfügung. Die Datensätze differierten zudem hinsichtlich des jahreszeitlichen Beprobungstermins und waren daher nicht vergleichbar.

In Absprache mit dem Projektbeirat wurden deshalb für die länderübergreifende Auswertung 11 Parameter (vgl. Tab. 5) ausgewählt. Bei diesen handelte es sich um die Schwermetalle Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg und Zn sowie um die anorganischen Parameter totaler und/oder organischer Kohlenstoff (C_t (TC), C_{org}), totaler Stickstoff (N_t (TN) und Phosphor, gesamt (P_{ges}).

Tab. 5 : Liste der Parameter für die länderübergreifende Auswertung.

	Parameter	Einheit	Bedeutung
Bodenchemie	totaler Kohlenstoffgehalt C_t	Masse-%	Humusdynamik, Ermittlung von C/N, Bewertung von z.B. Austauschkapazität
	organischer Kohlenstoffgehalt C_{org}	Masse-%	Humusdynamik, Bewertung von z.B. Bodenmikrobiologie
	totaler Stickstoffgehalt N_t	Masse-%	Ermittlung von C/N, Bewertung von z. B. Bodenmikrobiologie
	Phosphor, gesamt	mg/kg-TM	Nährstoffversorgung
	Schwermetalle (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn)	mg/kg-TM	Schadstoffbelastung, verfügbare Gehalte nicht obligat, nur soweit vorhanden

Die vorgenommene Auswahl der Parameter wurde in Abhängigkeit von

- der bundesweiten Verfügbarkeit der Daten nach SPATZ (2001),
- der Harmonisierbarkeit der BDF-Daten in Bezug zur KA 4 (1996),
- der Vergleichbarkeit der bei den Ländern angewandten analytischen Methoden über einen Zeitraum von 15 Jahren unter Berücksichtigung der BG und
- den hauptsächlich aus der BBodSchV (1999) abgeleiteten Zielvorgaben der Auswertung vorgenommen.

4.3 Harmonisierung der Datensätze

Für die Ermittlung des länderübergreifenden Status der BDF entsprechend der Richtlinie nach BARTH et al. (2001) wurden die BDF-Daten von den Ländern in unterschiedlicher digitaler Form als Word-, Excel- oder Access-Dateien von Microsoft zur Erzeugung eines vergleichbaren Datensatzes übermittelt. Dazu gehörten die standort- und horizontbezogenen Daten zu den Schürfgruben der BDF mit Ausweisung der Titeldaten, der Aufnahmesituation, der horizontbezogenen Daten und der systematischen / typologischen Einordnung des Profils sowie die Daten zu den ausgewählten Parametern der Tab. 4.

Zur Gewährleistung des Datenschutzes beim Datenaustausch gemäß der Verwaltungsvereinbarung (VwV Datenaustausch, 1994) erfolgte die Übergabe der BDF-Daten mit vierstelligen Koordinaten.

Es wurde vereinbart, dass nur von den Ländern validierte Datensätze der Parameter in die bundesweite Auswertung Eingang finden.

Datengrundlage bildeten die von den Ländern aggregierten Einzeldaten mit horizontbezogener Probenahme:

- (1) für die Schürfgrube (Profildaten) bzw.
- (2) für die BDF-Teilflächen mit tiefenorientierter Probenahme des Ober- und Unterbodens als Basis für zukünftige Auswertungen von Zeitreihen (Flächendaten).

Beide Datensätze pro BDF konnten von den Ländern für die Zusammenführung der Daten der BD für die länderübergreifende Auswertung zur Verfügung gestellt werden. In die Auswertung gingen nur die Flächendaten der Untersuchungen der BDF-Teilflächen ein. Falls keine Daten für die BDF-Teilflächen vorlagen, wurde auf die der Schürfe zurückgegriffen (Profildaten).

Für jeden Standort ist der von den Ländern ausgewiesene gemittelte Prüfwert pro Horizont (aus den Flächendaten der einzelnen Teil-Kernflächen) ausgewertet worden, so weit dieser erhoben wurde. Eine Differenzierung der Daten aus diesen Mischproben nach BDF-Teilflächen erfolgte nicht, da die Aggregation der Daten auf Länderebene erfolgt. Aussagen zur Variabilität der Parameter am Standort wurden nicht vorgenommen, da dazu keine Angaben vorlagen.

Die Datenlage für die Standorte war sehr unterschiedlich. Für etwa ein Drittel der Standorte lag nur ein Einzelwert vor, der von den Ländern als repräsentativer Wert aus den BDF-Proben abgeleitet wurde. Bei Standorten, für die zwei oder mehrere Proben vorlagen, wurde jeweils der Median des Parameters bestimmt und dieser wurde in die länderübergreifende Auswertung einbezogen.

Grundsätzlich kann eine Bewertung von Parametern, wie z. B. von Schwermetallen, nur durchgeführt werden, wenn eine einheitliche Bezugsbasis vorgegeben wird. Bei Böden ist eine überregionale Bewertung in Bezug auf bodensystematische Einheiten und Bodenhorizonte sinnvoll. Da jedoch viele pedogene Prozesse in völlig unterschiedlichen bodenbildenden Substraten ablaufen können, wird ein Bezug auf die bodenbildenden Substrate und Ausgangsgesteine empfohlen (UTERMANN et al., 1999). Erst dann ist es möglich, Hintergrundwerte und Belastungen von Standorten auszuweisen. Als einheitliche Bezugsbasis für die Auswertung der Parameter der BDF der Länder wurde die KA 4 (1996) ausgewählt.

Für die Statuserhebung zum Bodenzustand der BDF nach der Erstbeprobung sollten nach der Harmonisierung der Datenbestände (Übersetzung, Transformation) für die ausgewählten Parameter nach Abschnitt 4.2 standortbezogene Übersichtskarten für die Stoffbelastungen des Oberbodens erstellt werden. Diese waren hinsichtlich der Hauptnutzungen Acker, Grünland und Forst zu differenzieren. Die Standorte, die nach dem Kriterium Belastungsrepräsentanz (inkl. der Sonderstandorte) zur Auswahl der BDF nach BARTH et al. (2001) eingerichtet wurden, waren bei der Georeferenzierung mittels Arc-View bzw. Arc-Info (ESRI®) gesondert zu kennzeichnen.

Mit dem einheitlich erzeugten BDF-Datensatz sollte eine länderübergreifende statistische Auswertung vorgenommen werden. Das Ziel war die Ableitung von statistischen Parametern zur Charakterisierung der Stoffverteilung in den BDF, wobei nur der Oberboden in die Auswertungen einzubeziehen war. An beispielhaften länderübergreifenden Auswertungen sollte der BDF-Datensatz auf seine Eignung hinsichtlich der Auswertbarkeit zu aktuellen nationalen gesetzlichen Bezügen überprüft werden, insbesondere zur Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV, 1999). Dazu gehörte die Durchführung des Vergleichs der Daten mit den Vorsorgewerten der BBodSchV unter Berücksichtigung der Nutzung, den Bodenarten-Hauptgruppen und den dort ausgewiesenen Tiefenstufen (vgl. Kapitel 6). Für die

Auswertung von zukünftigen Zeitreihen mit den in der BDF-Konzeption nach BARTH et al. (2001) festgelegten Stoffparametern (z. B. Schwermetalle) sollten zudem Vorschläge erarbeitet werden, mit deren Hilfe sich zeitliche Veränderungen des Bodenzustandes in Deutschland nachweisen lassen.

Bestandteil des Projektes war auch die Durchführung des Vergleichs der BDF-Schwermetalldaten mit den Hintergrundwerten (HGW) der LABO (LABO, 2003). Für einen einheitlichen, vergleichbaren Bezug zu der geologisch / pedologischen Grundcharakteristik der Oberböden der BDF erfolgte dazu die Zuordnung der BAG-Gruppen nach der Tab. 6 durch die Länder. Die Grundlage zur Klassifikation der BAG-Gruppen bildeten die in Gruppen zusammengefassten Bodenausgangsgesteine (BAG) der Legendeneinheiten (LE) der Bodenübersichtskarte BÜK 1000 nach UTERMANN et al. (1999).

Tab. 6 : Übersicht der zu Gruppen zusammengefassten Bodenausgangsgesteine der LE der Bodenübersichtskarte (BÜK 1000) nach UTERMANN et al. (1999).

LE	Symbol	Bodenausgangsgestein (BAG)	LE der BÜK 1000
ohne		ohne Bezeichnung	2, 72
1	SIG	Sedimente im Gezeitenbereich	3, 4**, 5
2	AUE	Auensedimente	8, 9, 10, 11
3	TUS	Terrassen- und Schotterablagerungen	13, 14, 15, 16
4	SAN	Sande	1, 12, 17, 22, 25, 28, 29, 31, 32, 33, 34
5	G/S	Geschiebemergel / -lehme mit sandiger Deckschicht	26
6	GLM	Geschiebemergel / -lehme	19, 20, 21, 23, 24, 27, 30
7	LÖS	Lösse	18, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 48
8	SLÖ	Sandlössse	46
9	KST	Karbonatgesteine (Kalk- und Mergelgesteine)*	49, 50, 66, 68, 69
10	TST	Tongesteine*	51, 52, 59, 60, 65, 67
11	SST	Sandsteine*	58, 61, 62, 63, 64
12	BMM	Basische Magmatite und Metamorphite*	47, 53
13	BIM	Bimstuff*	54
14	SMM	Saure Magmatite und Metamorphite*	55, 56, 57
15	MOO	Moore (einschl. kultivierter Moore)	6, 7
(16)	SON	ohne Bezeichnung	70, 71

* sowie deren Verwitterungsprodukte und/oder Mischungen mit anderen Substrattypen über den entsprechenden Festgesteinen

**flächenhaft dominierende LE der BÜK 1000

4.4 Überblick über die im Projekt verwendeten Daten der BDF

Bei der Erhebung der Metadaten zu den Boden-Dauerbeobachtungsflächen der Länder wurden 839 Standorte in Deutschland im Jahr 2001 erfasst (SPATZ, 2001). Für dieses Projekt standen Daten von 624 BDF (613 Länder, 11 UBA-Luftmess-Standorte) zur Auswertung zur Verfügung. Die größte Differenz ergab sich aus der Neustrukturierung des BDF-Programms in Baden-Württemberg. Dort wurde die Standortanzahl von 160 auf 127 verringert. Von Sachsen-Anhalt konnten 26 BDF-Standorte nicht berücksichtigt werden, da diese Daten erst nach Redaktionsschluss eingingen.

In der Tab. 7 sind die übergebenen und ausgewerteten Datensätze der Parameter pro BDF-Standort (Profildaten aus Schürfgruben und/oder Flächendaten der BDF-Kernfläche oder aggregierte Flächendaten von mehreren BDF-Teilflächen oder Sondierungen) und Bundesland zusammengefasst worden. Entsprechend der von den Ländern vorgenommenen Aggregation der BDF-Daten flossen in die Auswertung alle Datensätze der Parameter pro BDF ein, die von den Ländern übergeben wurden (minimal 1, maximal 4). Insgesamt lagen für die Auswertung der 624 BDF 802 standortbezogene Datensätze für die Parameter vor.

Die Anzahl der ausgewerteten Standortdaten ergab sich aus der Zielstellung des Projektes, den ausgewählten Parametern sowie den Zielen der Boden-Dauerbeobachtung (BD) nach BARTH et al. (2001), vgl. Kapitel 3.1. Für die länderübergreifende Auswertung zur langfristigen Überwachung der Veränderungen der Böden und zur Ableitung von Prognosen der künftigen Entwicklung sind nur die Flächendaten der BDF entscheidend. Die für manche Länder verwendeten Profildaten (vgl. Tab. 7) müssen bei zukünftigen Trendanalysen durch die BDF-Daten ersetzt werden. Der aus den ausgewerteten 802 Standortdaten erzeugte einheitliche BDF-Datensatz bildet die Ausgangsbasis für die länderübergreifende Auswertung von in Zeitreihen vorhandenen Daten der Länder, die für Trendanalysen genutzt werden sollen.

Die 624 BDF-Standorte sind in 6480 Horizonte untergliedert. 6875 Proben konnten den Horizonten zugeordnet werden, wobei die Anzahl der Datensätze pro Parameter sehr unterschiedlich aufgeschlüsselt ist. Entsprechend den Parametergruppen der Tab. 4 betrugen diese: 6005 für die anorganische Chemie, 5067 für die Schwermetalle mittels KW/ICP, 1579 für Physik und 162 für die Basalatmung und Biomasse.

Tab. 7 : Übergebene und ausgewertete Datensätze der Parameter pro BDF-Standort und Bundesland, Anzahl in Abhängigkeit von der Aggregation durch die Länder

BDL mit Code	Anzahl der BDF im Projekt	übergebene Datensätze der BDF pro BDL	übergebene Datensätze der Luftmessnetzstandorte des UBA	ausgewertete Datensätze je Parameter pro BDL
02...BB	30	30 Profile und 120 BDF-Teilflächen	37 Profile (4 Standorte)	157
15...BE	3	3 Profile & BDF aus Level II-Programm	/	3
06...BW	33	33 Profile und 33 BDF	/	33
10...BY	253	56 Profile & BDF Forst; 132 BDF LW, 65 Profile & BDF (GLA)	/	253
05...HH	3	4 Profile und 8 BDF-Teilflächen	/	8
11...HE	67	56 Profile und 67 BDF	/	67
04...MV	19	19 Profile und 17 BDF	2 Profile mit 18 Sondierungen (2 Standorte)	35
13...NI	69	69 Profile und 69 BDF	/	69
12...NRW	22	22 Profile & BDF	/	22
14...RP	7	7 Profile & BDF aus Level II-Programm	/	7
09...SH	34	34 Profile	/	34
07...SL	11	11 Profile	/	11
01...SN	26	26 Profile & BDF	3 Profile mit 25 Sondierungen (3 Standorte)	51
08...ST	14	14 Profile und 14 BDF		14
03...TH	22	22 Profile und 22 BDF	2 Profile mit 16 Sondierungen (2 Standorte)	38
UBA	11			
Gesamt	624	953		802*

*berücksichtigte Datensätze für die Auswertung fett markiert

Beim Datentransfer wurden zu den Parameterdaten zusätzlich die Bestimmungsgrenzen (BG) der eingesetzten Prüfverfahren abgefragt. Bedingt durch das ausgewertete Zeitfenster konnten bei einigen Parametern die Stoffgehalte, die unter der BG lagen, bei der Auswertung nicht berücksichtigt werden.

4.5 Aufbau einer Microsoft-Access-2000 Datenbank

Für die Verwaltung und Dokumentation der von den Ländern zur Verfügung gestellten Daten wurde eine relationale Microsoft-Access-2000-Datenbank entwickelt. Sie steht hinsichtlich der Datenbankstruktur, Tabellen, Abfragen und Formulare in enger Anbindung an das im UBA bestehende Bodeninformationssystem. Die inhaltliche Struktur entspricht den Datenanforderungen der KA 4 (1996) und BARTH et al. (2001).

Für die eindeutige Zuordnung der BDF wurde ein numerischer Code für die Profilnummern der BDF erzeugt. Dieser hat folgenden Aufbau:

- In den ersten beiden Stellen erfolgte die Codierung des Bundeslandes der BDF nach dem Code der Tab. 7, z.B. „01xxxxx“ für das Bundesland Sachsen (SN).
- Die folgenden drei Stellen beinhalten die eigentliche BDF-Nummer, sie kann zwischen 1 und 999 liegen, z.B. „xx111xx“ für die BDF-Nummer 111 des Landes.
- Die nächst folgende Stelle wurde mit einer „xxxxx1x“ für „Schürfgrube“ oder „xxxxx2x“ für „Boden-Dauerbeobachtungsfläche“ belegt.
- Die letzte Ziffer stellt wiederum eine Nummerierung der Schürfgruben oder der Teilflächen der BDF dar. Dabei wurde davon ausgegangen, dass es nicht mehr als neun Schürfgruben oder Teilflächen pro BDF gibt. Die Zahlenfolge „0800611“ bedeutet:
08xxxxx ... Bundesland Sachsen-Anhalt
08006xx ... BDF-Nr. 6 in Sachsen-Anhalt
0800611 ... Schurf 1 der BDF-Nr. 6 in Sachsen-Anhalt.

Im Hauptformular „**01 Eingabe Profil/Horizonte komplett**“ der Microsoft-Access-2000-BDF-DB erfolgte die Darstellung der BDF-Daten unter Verwendung der Profilnummern der BDF in elf verschiedenen Datenblättern (Abb. 3). Im Hauptformular wurden alle Angaben zu den Titeldaten und zur Aufnahmesituation (vgl. Tab. 1), entsprechend dem Formblatt der KA 4 (Abb. 6) abgebildet. Die Dokumentation der horizontbezogenen Daten der BDF und der horizontbezogenen Parameterdaten erfolgte in den Datenblättern eins bis elf.

Die Datenblätter des Formulars der BDF-DB sind wie folgt aufgebaut:

- (1) Datenblatt „**Horizonte**“ (Abb. 3) und Datenblatt „**Ho-Merkmale**“.
Angaben zu den Horizonten: Horizont-Nr., Horizontgrenzen (Untergrenze, Obergrenze, Form, Schärfe, Lage), Horizontsymbol, Bodenfarbe, Humus-/Kohlegehalt, Karbonatgehalt, Bodenfeuchte, pedogene Merkmale, Hydromorphiemerkmale, sonstige pedogene Merkmale, Bodengefüge (Form u.

Größe), effektive Lagerungsdichte, Substanzvolumen, Zersetzungstufe, Durchwurzelungsintensität, Substratmerkmale (Substratsymbol, Geogenese, Bodenart / Torfart, Grobbodenfraktionen, Bodenausgangsgestein, Stratigraphie), Gesteinsgruppen nach Utermann et al. (1999).

Neues Profil eingeben BDF Suche:

Profilnummer	BDF-Name	Bundesland	BDF-Nr.	TK25	Aufn.-Datum	Rechtsw.	Hochw.	Höhe	Aufschlussart
0100111	Belgern	Sachsen	BP-BDF1/2	4545	15/09/1995	4582134.0	5705184.0	87.40	

Relief

Neigung	Exposition	Wölbung	Reliefformtyp	Metrische Angaben	Mikrorelief	Lage	Ab- / Auftrag	Nutzungsart	Vegetation	Witterung
N0.1	E	G	QA			Z		AS	RA	

Horizonte Ho-Merkmale Proben-Ch KAK KW/ICP mg/kg Totalgehalte % Totalgehalte mg/kg Köhn / Biologie Physik PCB/Phth/Endo OCP/PAK Parameter/Verfahren

HORNR	SCHICHT	O. TIEFE	U. TIEFE	H. Form	Schärfe	Lage	Symbol1	V1	Symbol2	V2	Symbol3	FARBE 1	FARBE 2	FARBE 3
01	I	0	15	w	de						aAp1	10YR3/3		
02	I	15	32	e	sc						aAp2	10YR3/3	10YR4/3	
03	I	32	50	w	sc			Bv	-		aM	10YR5/4		
04	I	50	102	w	di						aM	10YR5/3	10YR7/3	
05	I	102	120	w	de						aM	10YR5/3	10YR4/4	
06	I	120	150								aM	10YR5/3	10YR5/4	

Datensatz: 1 von 6

Boden Systematische Einheit Humusform Grundwasser Stand Vernäsungsgrad Erosionsgrad Bodenschätzung Status BAG LE BUK 1000

Boden	Subtyp	Original	Substrat	Humusform	Grundwasser Stand	Vernäsungsgrad	Erosionsgrad	Bodenschätzung	Status
AB	ABn					Vn0			

Bemerkungen

zu den Titeldaten	zur Aufnahmesituation	Schutzstatus	BDF-Typ	zur Profilkennzeichnung
			Profil & Fläche	Gw-Stand?: Hor.01-02: statt Ap => aAp?

Formularansicht

Abb. 3 : Microsoft-Access-2000-Formular zur Darstellung der BDF-Daten der Länder.

(2) Datenblatt „**Proben-Ch**“.

Daten zur Probenahme (Entnahmetiefen), Ausweisung der Parametergehalte der Stoffgruppe ‚anorganische Chemie‘ (Tab. 4) in [Masse-%] und von Quecksilber in [µg/kg-TM].

(3) Datenblatt „**KAK**“.

Darstellung der Analysengehalte der Parameter des Verfahrens Austauschkapazität (KAK) in [cmol_c/kg].

(4) Datenblatt „**Totalgehalte %**“ und Datenblatt „**Totalgehalte mg/kg**“.

Darstellung der Totalgehalte der Elemente in [Masse-%] oder [mg/kg-TM] nach Totalaufschluss. Hier kamen verschiedene Verfahren zum Einsatz.

(5) Datenblatt „KW-ICP mg/kg“ (Abb. 4).

Darstellung der Schwermetallgehalte nach Königswasserextraktion und Bestimmung durch induktiv gekoppelte Plasma-Atom-Emissionsspektrometrie (ICP-AES) in [mg/kg-TM].

Neues Profil eingeben **BDF Suche:**

Profilnummer: 0100111 BDF-Name: Belgern Bundesland: Sachsen BDF-Nr.: BP-BDF1/2 TK25: 4545 Aufn.-Datum: 15/09/1995 Rechtsw.: 4582134.0 Hochw.: 5705184.0 Hoehe: 87.40 Aufschlussart:

Relief: Neigung: N0.1 Exposition: E Wölbung: G Reliefformtyp: OA Metrische Angaben: Mikrorelief: Lage: Z Ab- / Auftrag: Nutzungsart: AS Vegetation: RA Witterung:

Horizonte	Ho-Merkmale	Proben-Ch	KAK	KW/ICP mg/kg	Totalgehalte %	Totalgehalte mg/kg	Köhn / Biologie	Physik	PCB/Phth/Endo	OCP/PAK	Parameter/Verfahren						
HOR	As	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	P	S	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Tl
01	24.2		20700	585	5300	7600		10200	913	67	0.60	54.1	24.9	20.9	45.8	115.0	
02	24.8		22100	592	5700	8300		9200	913	67	0.60	54.8	25.7	21.1	47.6	117.0	
03	21.9		22900	580	6000	8300		10000	587	33	0.32	56.6	19.9	21.5	31.5	75.8	
04	19.5		23300	581	6000	7800		10000	587	100	0.31	59.6	22.4	23.3	27.4	73.3	
05	20.4		21500	647	5400	7300		10300	489	33	0.34	54.2	24.6	21.6	25.8	72.4	
06	19		26300	767	6600	7100		10800	587	-33	0.26	70.1	21.5	26.7	24.9	78.3	

Datensatz: 1 von 6

Systematische Einheit

Boden: AB Subtyp: ABn Original: fo Substrat: fo (k2) Sf // fo sl Sf // fo tu Sf // f (k3) Sf // f l Sf

Bemerkungen

zu den Titeldaten: zur Aufnahmesituation: Schutzstatus: BDF-Typ: Profil & Fläche: zur Profilkennzeichnung: Gw-Stand?: Hor.01-02: statt Ap => aAp?

Abb. 4 : Datenblatt „KW/ICP mg/kg“ zur Darstellung der Schwermetallgehalte nach Königswasserextraktion (KW) und ICP-Bestimmung.

(6) Datenblatt „Köhn / Biologie“.

Darstellung der Ergebnisse zur Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung in [Masse-%] mit Ausweisung der Bodenart (Feinboden) und der Anteile an Sand (S), Schluff (U) und Ton (T) sowie der Basalatmung in [µgCO₂-C/(g/h)-TM] und Biomasse in [µgC_{mik}/g-TM].

(7) Datenblatt „Physik“.

Darstellung der physikalischen Parameter: Rohdichte, trocken (dB) in [g/cm³], Festsubstanzdichte (dF) in [g/cm³], Gesamtporenvolumen (GPV) in [Vol-%], Wasserleitfähigkeit, gesättigt (kf) in [cm/d] und Porengrößenverteilung (pF) in [cm³/cm³].

- (8) Datenblatt „**OCP / PAK**“ und Datenblatt „**PCB / Phth / Endo**“.

Darstellung der organischen Parameter in [$\mu\text{g/kg-TM}$]: OCP (Organochlorpestizide) – HCB, HCH-Verbindungen, DDT-Gruppe; PAK (Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) – 16 Verbindungen nach EPA; PCB (Polychlorierte Biphenyle) – 6 Verbindungen nach Ballschmitter; Phth (Phthalate) - 4 Verbindungen; Endo (Endokrine Verbindungen).

- (9) Datenblatt „**Parameter / Verfahren**“.

Darstellung der Stoffgehalte der jeweiligen Parameter in Abhängigkeit vom Horizont und der Entnahmetiefe mit Ausweisung der Einheit, der angewandten Methode und der verwendeten Norm.

Abb. 5 : Datenblatt „Parameter / Verfahren“ zur horizontbezogenen Darstellung der Stoffgehalte für den jeweiligen Parameter mit Einheit, angewandter Methode und verwendeter Norm.

Zur parameterbezogenen Darstellung der analysierten Stoffgehalte der BDF wurde in der BDF-DB ein zweites Formular „Compound“ (Abb. 6) konzipiert. Die Darstellung der Analysenwerte erfolgte hier parameterbezogen. Zusätzlich wurden den Ergebnissen der jeweilige BDF-Standort, das Land, der BDF-Typ, der Horizont, die Entnahmetiefe, die Analyseneinheit, die Methode und die Norm (Verfahren) zugeordnet.

Microsoft Access - [Compound]

Datei Bearbeiten Ansicht Einfügen Format Datengänge Extras Fenster ?

PROFIL Arial 10 F X U

Parameter: Blei Neu

Suche: Blei

Daten Verfahren Proben

PROFIL	BDF	BDF Land	BDF Typ	HORN	ENTTIEFE	Ergebnis	Einheit	Norm	Methode
0100311	Bauda	Sachsen	Profil & Fläche	01	23	21.7	mg/kg	DIN EN ISO 1185	ICP-AES
0100311	Bauda	Sachsen	Profil & Fläche	02	41	11	mg/kg	DIN EN ISO 1185	ICP-AES
0100311	Bauda	Sachsen	Profil & Fläche	03	53	11.8	mg/kg	DIN EN ISO 1185	ICP-AES
0100311	Bauda	Sachsen	Profil & Fläche	04	73	13.1	mg/kg	DIN EN ISO 1185	ICP-AES
0100311	Bauda	Sachsen	Profil & Fläche	05	115	10	mg/kg	DIN EN ISO 1185	ICP-AES
0100311	Bauda	Sachsen	Profil & Fläche	06	130	13.7	mg/kg	DIN EN ISO 1185	ICP-AES
0100311	Bauda	Sachsen	Profil & Fläche	07	160	11.3	mg/kg	DIN EN ISO 1185	ICP-AES
0100411	Brandis	Sachsen	Profil & Fläche	01	23	25	mg/kg	DIN EN ISO 1185	ICP-AES
0100411	Brandis	Sachsen	Profil & Fläche	02	26		mg/kg	DIN EN ISO 1185	ICP-AES
0100411	Brandis	Sachsen	Profil & Fläche	03	31	21.2	mg/kg	DIN EN ISO 1185	ICP-AES
0100411	Brandis	Sachsen	Profil & Fläche	04	39	13.3	mg/kg	DIN EN ISO 1185	ICP-AES
0100411	Brandis	Sachsen	Profil & Fläche	05	48	12.7	mg/kg	DIN EN ISO 1185	ICP-AES
0100411	Brandis	Sachsen	Profil & Fläche	06	101	11.7	mg/kg	DIN EN ISO 1185	ICP-AES
0100411	Brandis	Sachsen	Profil & Fläche	07	124		mg/kg	DIN EN ISO 1185	ICP-AES
0100511	Schweta	Sachsen	Profil & Fläche	01	30	30.3	mg/kg	DIN EN ISO 1185	ICP-AES
0100511	Schweta	Sachsen	Profil & Fläche	02	40	25.4	mg/kg	DIN EN ISO 1185	ICP-AES
0100511	Schweta	Sachsen	Profil & Fläche	03	60	16.2	mg/kg	DIN EN ISO 1185	ICP-AES
0100511	Schweta	Sachsen	Profil & Fläche	04	80	17.4	mg/kg	DIN EN ISO 1185	ICP-AES
0100511	Schweta	Sachsen	Profil & Fläche	05	100	14.7	mg/kg	DIN EN ISO 1185	ICP-AES
0100511	Schweta	Sachsen	Profil & Fläche	06	145	14.7	mg/kg	DIN EN ISO 1185	ICP-AES

Datensatz: 1 von 5051

Datensatz: 49 von 159

Formularansicht

Abb. 6 : Formular „Compound“ zur parameterbezogenen Darstellung der Stoffgehalte der BDF mit Einheit, angewandter Methode und verwendeter Norm.

5 Länderübergreifende Harmonisierung der bodenkundlichen Daten

Zur Feststellung des aktuellen Status der BD für die länderübergreifende Auswertung der BDF-Standorte mussten die Daten der Länder nach den Schlüssellisten der KA 4 harmonisiert werden, vgl. Kapitel 4.1. Ziel der Harmonisierung der Stammdaten der BDF der Länder war es, die bodenkundlichen Bezüge für eine bundesweite Auswertung zu vereinheitlichen. Damit wurde eine Klassifikation der Daten ermöglicht und es konnten so fast vollständig alle in der Datenbank aufgenommenen profil- und horizontbezogenen Daten in die Auswertung einbezogen werden.

Die Harmonisierung der Daten beinhaltete drei Schritte:

- (1) Überführung der Datenstrukturen der Länder in eine übergreifende Struktur.
In diesem Harmonisierungsabschnitt wurden die von den Ländern gelieferten Stammdaten ohne Prüfung der Plausibilität in die BDF-Datenbank aufgenommen und weitestgehend mit den Schlüssellisten der KA 4 verknüpft.
- (2) Inhaltliche Harmonisierung der Beschreibung der BDF-Profile durch Verwendung der KA 4-Schlüssellisten.
Hier erfolgte die Harmonisierung der Horizontsymbole und der Substratkennzeichnung.
- (3) Überprüfung der Harmonisierung durch die Länder.
Ein wesentlicher Schritt war die Prüfung der Profil- und Horizontdaten auf Plausibilität nach dem Harmonisierungsschritt. Bedingt durch die mehrfache Überführung der Daten und die Verwendung verschiedener Schlüssellisten im zeitlichen Verlauf traten Unstimmigkeiten bei der Plausibilität auf. Diese wurden in Zusammenarbeit mit den jeweiligen Ländern beseitigt.

Als Ergebnis lag ein abgestimmter und homogener Datensatz zur Beschreibung der Profil- und Horizontdaten vor, wie in Tab. 8 ausgewiesen. Dieser Datensatz bildete die Grundlage für alle vorgenommenen Auswertungen zu den Parameterdaten.

Tab. 8 : Harmonisierter BDF-Datensatz zur Auswertung von Parameterdaten.

Tiefe [cm]	Horizont-symbol	Substrat-genese	Bodenarten-hauptgruppe	BAG	Parameter-daten
30	Ap :	p-	s	(Sp)	Schwermetalle
40	Ap :	p-	s	(Sp)	Schwermetalle
75	Bt :	g-	l	(Lg)	Schwermetalle
105	elCv :	g-	el	(Mg)	Schwermetalle
LF : Bodensystematische Einheit		p – s (Sp) / g – l (Mg) Substratsystematische Einheit			

5.1 Harmonisierung der Stammdaten nach KA 4

Nach der Abfrage der Stammdaten bei den Ländern erfolgte die Überführung der nach BARTH et al. (2001) strukturierten BDF-Daten der Profile in die Access-2000 Datenbank. In Abb. 7 wurde beispielhaft eine Profilbeschreibung nach KA 4 abgebildet. Alle dort aufgeführten Angaben zu den Titeldaten, zur Aufnahmesituation und zur Profilkennzeichnung der BDF wurden den Schlüssellisten der KA 4 zugeordnet und mit den Kurzzeichen der KA 4 versehen.

Ausgabeformblatt für bodenkundliche Sondierungen														
TITELDATEN														
TK25	Projektnummer	Profilnummer	Datum	Bearbeiter	Rechtswert	Hochwert	Höhe	Aufschlußart	Bemerkung					
9999	InderGrube	1700111	07/05/1896	Muster	xxxxxxx	xxxxxxx	0.0	GS+BP	UT					
AUFNAHMESITUATION														
Relief												Bemerkung		
Neigung	Exposition	Wölbung	Reliefformtyp	Metrische Angaben z. Relief	Mikrorelief	Lage	Bodenabtrag/-auftrag	Nutzungsart	Vegetation	Witterung	anthropogene Veränderungen	Schutzgebietstatus	Beeinträchtigung	verbale Bemerkung
N3.2	S	X5	X3	HX,X		RE	A	EWf	F	AG	HA	WT4	MU	
HORIZONTBEZOGENE DATEN														
Horizont-Nr.	Schicht O/U Tiefe	Horizont-symbole	Bodenfarbe	Pedogene Merkmale			Substratmerkmale							
				Kalk	Hydromorphie	sonstige Merkmale	Substrat-symbol	Feinboden-Torf-/Muddeart	Grobbodenfraktionen	Summe Skelett (%)	Gesteins-kennzeichen	Substratinhomogenitäten	Stratigraphie	Proben-nummer
1	0 30	Ap	10YR4/2	h2 c0 feu3	r.g0 e.g0		a-s	Sl2	G2					qh
2	30 65	M	10YR3/2	h1 c0 feu3	r.g0 e.g0		a-s	Sl3	G2					qh
3	65 91	fAh	10YR3/1	h2 c0 feu3	rb.fl.f3 ed.fl.f4		g-l	Sl3	G2		Lg			qw
4	91 115	Ah+Go	5YR5/1 7.5YR4/6 10YR2/1	h1 c0 feu4	rb.fl.f5 ed.fl.f4		g-l	Sl2	G2		Lg			qw
5	115 200	eICv-Go	5YR6/1 10YR5/1	h0 c feu4	rb.fl.f4 ed.fl.f4		g-l	Sl3	G2		Lg			qw
Bodensystematische														
Bodensystematische Einheit	Substratsystematische Einheit	Humusform	GW-Stand	GW-Stufe	Vernässungs-grad	Erosions-grad	Boden-schätzung	Bodensys. Einheit KA Land	Status	Bemerkung				
1.) 2.)	1.) 2.) g-l		220		Vn3	Eg5	sl4D	SS-RZ						

Abb. 7 : Profilbeschreibung einer BDF nach Eingabe in die BDF-Datenbank.

Ein Beispiel zur Harmonisierung von Nutzungen gibt Tabelle 8 wieder.

Tab. 9 : Beispiel für die Anwendung der KA 4-Schlüssellisten auf Nutzungsangaben der Länder.

Nutzung KA x	KA 4	Bezeichnung
Acker	A	Ackerland allgemein
Acker (ein Jahr stillgelegt)	BA	Ackerbrache
Acker, stillgelegt	BA	Ackerbrache
Forst	F	Wald und Forst allgemein
Forst (Teilfläche: Altbestand	FH	Hochwald, Pflanzung
Teilfläche: Nachpflanzung)	FP	Aufforstung
Grünland	G	Grünland

5.2 Harmonisierung der bodensystematischen Einheiten nach KA 4

Für Auswertungen im Zusammenhang mit der BBodSchV ist die Bodenart ein wichtiger Parameter. Sie wird im Gelände als Bodenartenuntergruppe bei der Profilsprache horizontweise erfasst und / oder zusätzlich aus der im Labor gemessenen Korngrößenzusammensetzung über das Korngrößendreieck abgeleitet. Die Bodenartenuntergruppe lässt sich zur Bodenarten-Gruppe und -Hauptgruppe aggregieren (AG BODEN 1996, ALTERMANN & KÜHN 1999). Die weitere Harmonisierung betrifft die Kombination mit dem Bodenausgangsgestein und letztlich, unter Berücksichtigung der Substratgenese, die Zuordnung zu einer Substrateinheit (Abb. 8). Damit könnte eine Auswertung und Bewertung der Stoffgehalte pro Standort auf der Ebene von Horizont-Substratkombinationen vorgenommen werden, falls entsprechende Parameterdaten dafür zur Verfügung stehen (BAURIEGEL 2000, RIEK et al. 1995).

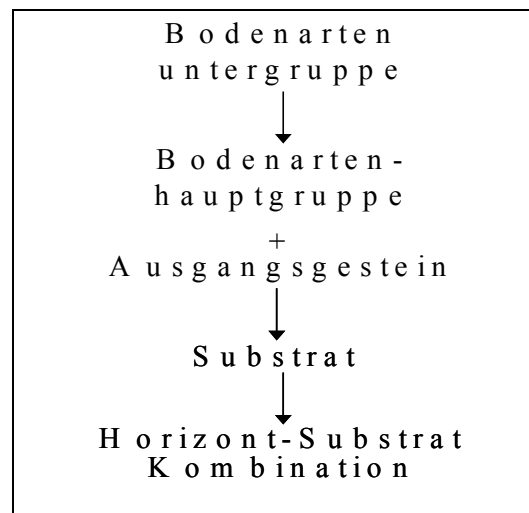


Abb. 8 : Stufen der Aggregation auf Horizontebene von der Bodenartenuntergruppe zur Horizont-Substrat-Kombination.

Auf der Ebene der Profilkennzeichnung findet bei der KA 4 eine Aggregation der horizontbezogenen Angaben zur boden- und substratsystematischen Einheit statt. Eine Auswertung der Parameterdaten kann so auch standortbezogen vorgenommen werden. In Abb. 9 ist der schematische Aufbau der systematischen Einheiten wiedergegeben.

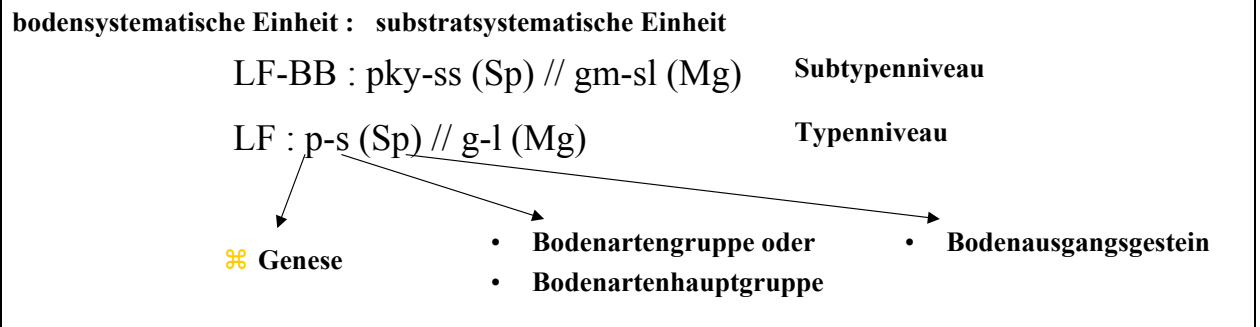


Abb. 9 : Schematischer Aufbau der boden- und substratsystematischen Einheit nach KA 4.

Hinsichtlich der Horizontsymbole bestand insbesondere bei den C-Horizonten, aber auch bei den Kombinationen von Ah mit Ap und Gr(o) mit C, eine große Vielfalt. Folgende allgemeine Harmonisierungen wurden durchgeführt:

- ✓ alle C-Horizonte, die silikatisch (nicht CaCO_3 -haltig) sind, wurden „i*C“ genannt;
- ✓ alle C-Horizonte, die mergelig (2-75% CaCO_3) sind, wurden „e*C“ genannt;
- ✓ alle C-Horizonte, die carbonatisch (>75% CaCO_3) sind, wurden „c*C“ genannt;
- ✓ alle C-Horizonte, die locker (grabbar) sind, wurden „*IC“ genannt;
- ✓ alle C-Horizonte, die massiv (nicht grabbar) sind, wurden „*mC“ genannt;
- ✓ alle C-Horizonte, die verwittert sind, wurden „*Cv“ genannt;
- ✓ alle C-Horizonte, die unverwittert sind, wurden „*Cn“ genannt;
- ✓ alle rAp-Ah-Horizonte wurden „rAp“ genannt. Die wichtigste Horizonteigenschaft ist, dass es sich um einen reliktschen Ap handelt. Damit ist gleichzeitig gesagt, dass in diesem Horizont wieder eine „normale“ Humusbildung stattfindet. Das Hauptsymbol Ah wäre also eine Dopplung. Wenn allerdings die neue Humusakkumulation soweit fortgeschritten ist, dass sie sichtbar wird, dann wird ein neuer Ah-Horizont über dem rAp-Horizont gekennzeichnet;
- ✓ alle Aep-Horizonte wurden „Ap“ genannt. Aep-Horizonte sind nach der Kartieranleitung nicht vorgesehen;
- ✓ alle (r)Go-(+)Cv-Horizonte wurden (r)Go genannt.

Für die Auswertung der Stoffdaten mittels Datenbankabfragen müssen die horizontbeschreibenden Datensätze in einem hohen Maße homogen und gleichsinnig strukturiert sein. Damit können die angestrebten Auswertungen der Parameter vorgenommen werden. In Tab. 10 und Abb. 10 sind Beispiele zur Harmonisierung aufgeführt worden. Die Eingangsdaten der BDF wurden auf einen einheitlichen Stand der KA 4-Schlüssellisten (Ziel-datensatz) angeglichen. Das erfolgte horizontbezogen. Nach der gleichen Verfahrensweise wurden die Profilsprachen harmonisiert.

Tab. 10 : Harmonisierungsbeispiel für verschiedene Horizont-Substrat-Kombinationen.

Eingangsdaten	Zieldaten harmonisierte Daten	Bemerkungen
Cc:g-el →	elCc:g-l(Mg)	abweichende Verwendung von vorgestellten Symbolen
elCc:gm-cs(Mg) →	elCc:g-l(Mg)	Niveauharmonisierung
Ah-Bv:f-(k)s(Sgf) →	Ah-Bv:p-s(Sp)	Angleichung systematischer Kennzeichnungsprinzipien
ilCv:f-(k)s(vs) →	ilCv:f-(k)s(Sgf)	Verwendung einheitlicher Schlüssellisten

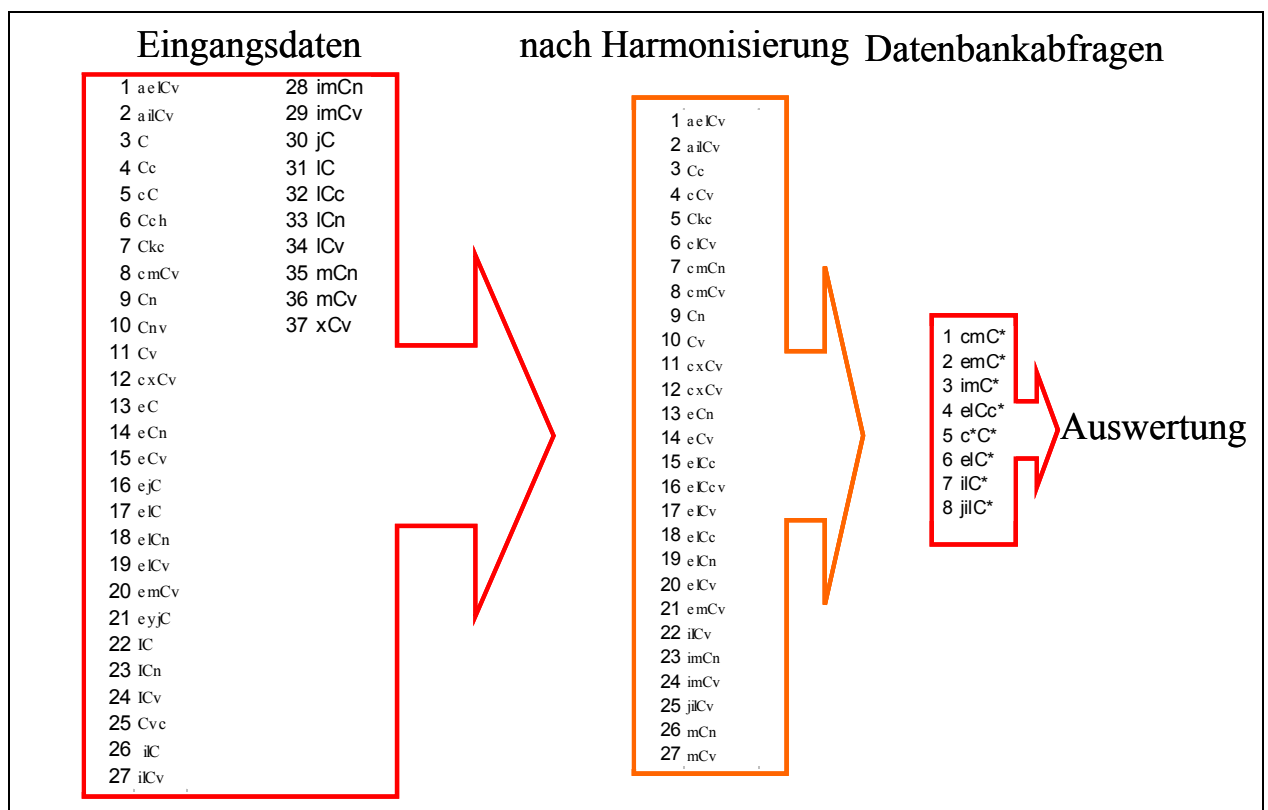


Abb. 10 : Harmonisierungserfolg am Beispiel der C-Horizonte.

5.3 Harmonisierung der Koordinaten der BDF

Für die kartographische Darstellung der Daten wurden die Koordinaten der Standorte der BDF generell als Gauss-Krüger-Koordinaten angegeben. Da sich die Bundesrepublik Deutschland über die Zonen 2 bis 5 erstreckt, war es notwendig, einen einheitlichen Koordinatenbezug herzustellen. Hierzu wurden die Standortkoordinaten der jeweiligen Zone mit Hilfe der ArcView (ESRI®) Projektion Utility separat in geographische Koordinaten (Dezimalgrad) umgewandelt und anschließend auf die Zone 3 projiziert (Transversale Merkatorprojektion, Bessel Ellipsoid, Mittelmeridian 9, Falsche Ostausrichtung 3500000).

Daten zu den Grenzen der Bundesländer wurden in digitaler Form vom UBA zur Verfügung gestellt und die Standorte der BDF als Punktdaten importiert.

5.4 Überprüfung der Auswahl bodenkundlicher Parameter unter Berücksichtigung der Anforderungen der BBodSchV

Mit dem vereinheitlichten länderübergreifenden BDF-Datensatz sollten beispielhafte Auswertungen zu aktuellen gesetzlichen Bezügen durchgeführt werden, insbesondere der Vergleich der Stoffgehalte mit den Vorsorgewerten der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV, 1999). Vorab wurden die ausgewählten Parameter (Kapitel 4.2) auf ihre diesbezügliche Eignung geprüft.

In der BBodSchV werden zur Feststellung der Entwicklung und der Veränderung der Böden sowie zur Ableitung von Hintergrundwerten luftgetragener Depositionen solche Stoffe bzw. Stoffgruppen berücksichtigt, die ubiquitär-diffus in Böden verbreitet sind, eine wirkungspfadbezogene Relevanz aufweisen (Boden-Grundwasser; Boden-Mensch; Boden-Nahrungskette) und in bestimmten Konzentrationen toxisch sind. Diese Stoffe müssen analytisch-chemisch und mit allgemein eingeführten, genormten Verfahren eindeutig und hinreichend präzise erfasst werden können.

Im Hinblick auf die Vergleichbarkeit der BDF-Daten mit den in der BBodSchV, Anhang 2 geregelten Bodenwerten sind nur solche Parameter berücksichtigt worden, die mit den Verfahren der BBodSchV, Anhang 1 erhoben wurden. Für zahlreiche Bodenparameter existieren in den bodenkundlichen Untersuchungslabors der Länder jedoch unterschiedliche Prüfverfahren. Eine Harmonisierung der bodenkundlichen Untersuchungsverfahren steht bis heute aus.

In der Dokumentation der zu verwendenden Labormethoden der AD-HOC-AG Boden (1998) wurden in Abstimmung mit den Ländern bodenchemische und -physikalische Verfahren beschrieben. In dieser Dokumentation sind für einen Parameter mehrere alternative Prüfverfahren aufgenommen worden, um auch zukünftig eine eindeutige Charakterisierung der großen Altdatenbestände in den Labor- und Profildatenbanken bodenkundlicher Fachinformationssysteme gewährleisten zu können. Dies gilt unabhängig von der Notwendigkeit, die Harmonisierung bodenanalytischer Verfahren in naher Zukunft voranzutreiben.

Für die Bestimmung von Schwermetallgehalten auf BDF können nach BARTH et al. (2001) sowohl die Königswasser-extrahierbare Fraktion (KW-Extraktion) als auch die sogenannten Totalgehalte in flusssäurehaltigen Aufschlüssen (HF-Aufschluss, z.B. HF-HCl-HClO₄-Druckaufschluss) bzw. die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) verwendet werden. Die KW-Extraktion nach DIN ISO 11466 stellt mit Bezug auf die in der BBodSchV (1999) und in anderen bodenschutzbezogenen gesetzlichen Regelwerken (z.B. Klärschlammverordnung (AbfKlärV)) festgelegten Bodenwerte das Referenzverfahren dar und wird von der LABO für die Ableitung von Hintergrundwerten empfohlen (LABO, 2003). Deshalb erfolgte die statistische Auswertung nach der KW/ICP-Methode. Im Projekt wurden keine Umrechnungen von Totalgehalten der Schwermetalle zu den Elementgehalten der Königswasserextraktion oder umgekehrt nach den Formeln von UTERMANN et al. (1999) vorgenommen. Die Umrechnungsformeln haben sich verändert und beziehen sich auf die in der Tab. 2 dargestellten Bezugsgrößen. Im Projekt standen keine vollständigen Daten dazu zur Verfügung.

Für das Projekt kamen daher verschiedene Prüfverfahren zur Untersuchung der Horizonte der BDF-Standorte zum Einsatz. Die Probenbearbeitung erfolgte in den Ländern jedoch einheitlich entsprechend dem Probenflussplan nach BARTH et al (2001). Die Angabe der Stoffgehalte erfolgte i.d.R. als Konzentrationswert bezogen auf die Trockenmasse Boden in [mg/kg-TM].

Wichtig für die Auswertung und Vergleichbarkeit von Daten ist die hinreichende Dokumentation der angewandten Methode. Diese wurde bei den Ländern abgefragt und, soweit übermittelt, in der BDF-Datenbank aufgenommen.

6 Ergebnisübersicht zu den harmonisierten länderübergreifenden Daten

Insgesamt konnten Daten von 624 Standorten in die Auswertung einbezogen werden. 438 Profile mit 964 Horizonten wurden vorab entsprechend der KA 4 harmonisiert. Die Harmonisierung betraf hauptsächlich:

- die Horizontfolge (55,5 %),
- das Ausgangsgestein (39,1 %),
- die Bodenart, Humus und Kalk (15,6 %) und
- die Hydromorphie (8,3 %).

Die bei den Ländern vorgenommene Dokumentation der Flächendaten der Parameter wurde in den meisten Fällen tiefenorientiert vorgenommen. Deshalb erfolgte für die länderübergreifende Auswertung die Zuordnung der Flächendaten der BDF zu den Horizonten der Profile in der Datenbank unter Berücksichtigung der Horizontfolge und den Bodenartengruppen. Einzelfehler bei der nachträglichen Zuordnung der Horizonte zu den Daten der Parameter sind daher nicht ausgeschlossen. Vereinzelt konnten einige Datensätze der BDF-Teilflächen den Horizonten aus den Profiluntersuchungen nicht zugeordnet werden (Eindeutigkeitsverletzung, Übermittlung von Daten aus Mischproben verschiedener Horizonte oder Bodenarten).

Für die vorgesehene langfristige Überwachung der Veränderungen der Böden wurden die BDF-Daten zu den Parametern, wie in Abb. 6 dargestellt, zusätzlich unter Angabe der analytischen Methode, der Einheit und der angewandten Norm in die BDF-Datenbank eingegeben.

6.1 Übersicht über BDF-Standorte

In den Ländern wurden verschiedene Stufen der Aggregation vorgenommen. Die Daten lagen in aggregierter Form für die BDF-Teilflächen vor oder als Einzeldaten. Bei einigen Standorten fehlten generell die Daten zu den Flächen, da bisher nur die Profile untersucht wurden. Insgesamt standen für die bundesweite Auswertung der einzelnen Parameter sehr heterogene Datensätze zur Verfügung. Das ist auf das große Zeitfenster (über 15 Jahre) und die Anwendung unterschiedlicher Methoden zurückzuführen.

Diese Auswertung der BDF-Daten muss hinsichtlich ihrer inhaltlichen Aussage auf Grund der Datenlage zwangsläufig exemplarisch bleiben. Es sollte daher größeres Gewicht auf das Vorhandensein von Daten aus allen Bundesländern und der Repräsentanz von Raumeinheiten im Sinne der BDF-Anleitung gelegt werden. Daher sind für die oben genannte Regel der Verwendung von Daten der Teilflächen Ausnahmen für die Standorte zugelassen worden, für die nur Profildaten vorlagen. In diesen Fällen gingen an Stelle der Daten der Teilflächen die Daten der Profiluntersuchung in die Auswertung ein, vgl. Tab. 7. Für zukünftige Auswertungen müssen für diese Standorte die Daten der Teilflächen unbedingt nachgeliefert werden. Unter Berücksichtigung der Standorte, für welche nur Profildaten vorlagen, standen für die Auswertungen 4133 (3214 + 919) Datensätze zur Verfügung. Eine Übersicht zu den in den Auswertungen verwendeten Datensätzen wurde in der Tab. 11 dargestellt.

Zur Überprüfung der Vergleichbarkeit der Profil- und Flächendaten der BDF wurde vorab exemplarisch für die Parameter Pb und Cd ein statistischer Test durchgeführt. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Summenkurven von Pb und Cd nahezu identisch sind. Die oben beschriebene Vorgehensweise der gemeinsamen Auswertung von Profil und Flächendaten konnte damit statistisch abgesichert werden.

Tab. 11 : Übersicht über die in den Auswertungen verwendeten Datensätze der BDF-Standorte in Ergänzung zu Tab. 7 .

BDL	BDF Standorte	Anzahl der BDF-Flächen	Datensätze, Flächen (Horizonte)	Anzahl der verwendeten Profile	Datensätze, Profile (Horizonte)
BB	30 und vier vom UBA	120	632	37 von vier UBA-Standorten	251 (UBA)
BE	3	3	15	/	/
BW	33	33	220	/	/
BY	253	253	1090	/	/
HH	3	3	37	/	/
HE	67	67	336	/	/
MV	19 und zwei vom UBA	17	17	18 Sondierungen von zwei UBA-Standorten	75 (UBA)
NI	69	69	342	/	/
NRW	22	22	180	/	/
RP	7	7	39	/	/
SH	34	/*	/	34	283
SL	11	/*	/	11	72
SN	26 und drei vom UBA	26	157	25 Sondierungen (UBA)	163 (UBA)
ST	14	14	33	/	/
TH	22 und zwei vom UBA	22	116	16 Sondierungen (UBA)	75 (UBA)
Gesamt	624		3214		919

*keine BDF-Daten übermittelt;

6.2 Nutzung, Bodenarten-Hauptgruppen und Bodenausgangsgesteins-Gruppen

Die 802 Standortdaten aus der Tabelle 7 in Kapitel 4.4 wurden entsprechend den Hauptnutzungsarten Ackerland (A), Wald & Forst (F) sowie Grünland (G) nach den Vorgaben der KA 4 in der Tab. 12 zusammengefasst. Nur die drei allgemeinen Nutzungsarten A*, F* und G* jeweils mit Ihren Untergruppen gingen als Gruppierungsparameter in die Auswertungen ein. Die Länder Berlin, Hamburg, Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen unterhalten für die Hauptnutzungsart Ackerland keine BDF. Bei den Hauptnutzungsarten Wald und Forst wurden die Daten des Level-II-Programms Forst nicht berücksichtigt, so dass keine Daten dazu für die Länder Niedersachsen, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen in die Auswertung eingingen. Für Sachsen und Brandenburg lagen jedoch durch die Einbeziehung der UBA-Standorte Daten zur Nutzung Forst vor. Die Länder Berlin und Rheinland-Pfalz verfügen bei der Hauptnutzungsart Grünland über keine BDF.

Tab. 12 : Verteilung der Hauptnutzungsarten auf die BDF-Standortdaten.

Nutzungsarten nach KA 4	Symbol	Anzahl	Anzahl BDL
Ackerland	A*	326	11
Wald, Forst	F*	209	11 + 2#
Grünland	G*	214	13
Brachfläche	B*	16	
Sonstige Nutzung (u.a. Park, Grünfläche)	N*	10	
Ödland (naturnah)	O*	18	
Sonderkultur	S*	9	

*mit Untergruppen; # UBA-Standorte in den Ländern

Zur Darstellung der räumlichen Verteilung wurden die Stoffgehalte der BDF-Standorte in verschiedenen Übersichtskarten Deutschlands in Punktform unter Berücksichtigung von Klassifizierungen und nach den Kriterien für die Standortauswahl nach BARTH et al. (2001) „BDF mit Standortrepräsentanz“ und „BDF mit Belastungsrepräsentanz“ dargestellt. In den Abbildungen 11 und 12 erfolgten Übersichtsdarstellungen zu den BDF-Standorten ebenfalls nach diesen Kriterien. Bei der Nutzung wurden die Hauptnutzungen nach der KA 4 ohne Berücksichtigung der Untergruppen dargestellt. Bei der Belastung sind Gebiete mit geogenen Besonderheiten und/oder tatsächlich vorhandenem oder vermutetem anthropogenen Belastungseinfluss mit einem Dreieckssymbol gekennzeichnet worden. Dies gilt für alle Übersichtskarten.

Die Belastungsrepräsentanz bezieht sich in der Regel nur auf bestimmte Parameter. Wenn diese Parameter nicht Gegenstand der Datenauswertung waren, die der jeweiligen Abbildung zu Grunde liegt, hat dieser Punkt trotz niedriger Werte dennoch das Symbol für „Belastungsrepräsentanz“ erhalten (siehe z.B. Abb. 15). Entweder bezog sich die Belastungsrepräsentanz dann auf andere Parameter, oder die bei der Einrichtung vermuteten anthropogenen Einflüsse traten bisher (noch) nicht auf.

Standorte, die nicht nach dem Kriterium „Belastungsrepräsentanz“ eingerichtet wurden, haben in allen Übersichtskarten ein Punktsymbol erhalten.

In der BDF-Datenbank sind Angaben zu den **Bodenausgangsgesteins-Gruppen** (BAG-Gruppen) horizontbezogen für die Auswertung aufgenommen und in der Abb. 13 dargestellt worden. Die Symbole entsprechen denen der Tab. 6 nach UTERMANN et al. (1999). Die Gruppen wurden aus den 72 Legendeneinheiten der BÜK 1000 zusammengefasst.

BDF-Standorte mit Nutzungsangabe

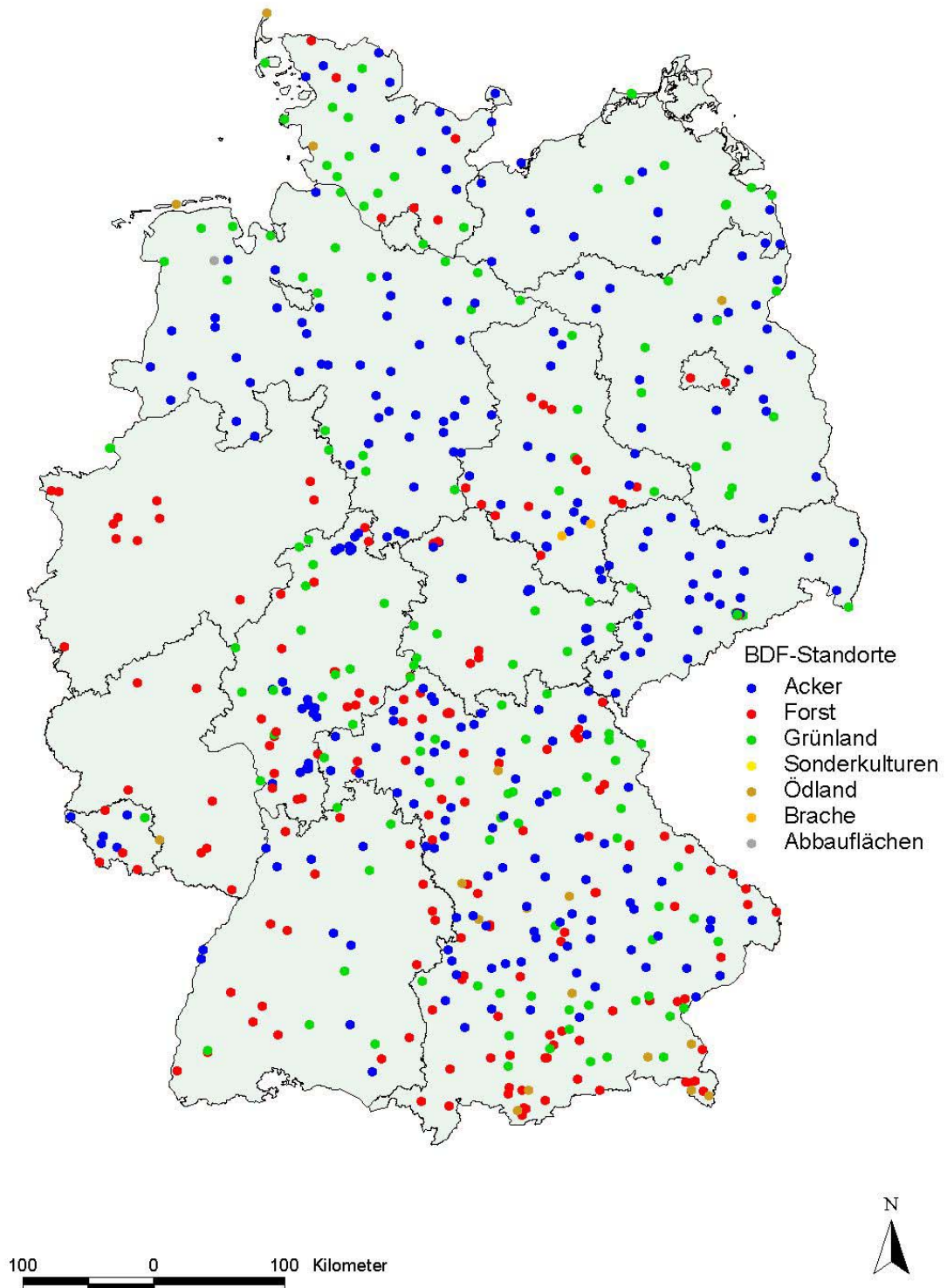


Abb. 11 : Verteilung der BDF-Standorte nach dem Kriterium Nutzung für die Standortauswahl nach BARTH et al. (2001).

Verteilung der BDF-Standorte entsprechend der Standortauswahl

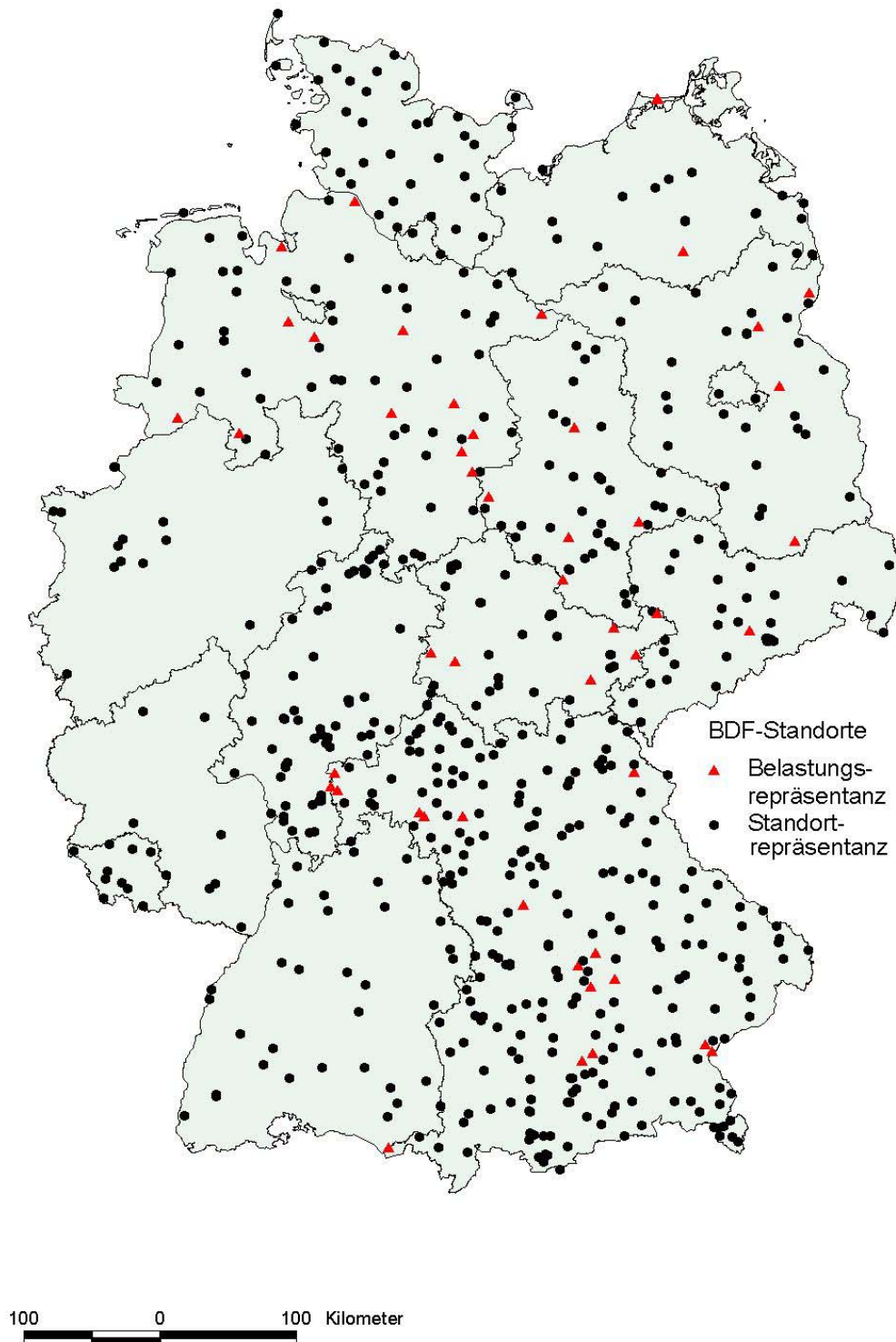


Abb. 12 : Verteilung der BDF-Standorte nach den Kriterien der Standortauswahl nach BARTH et al. (2001).

BDF-Standorte mit BAG-Gruppen

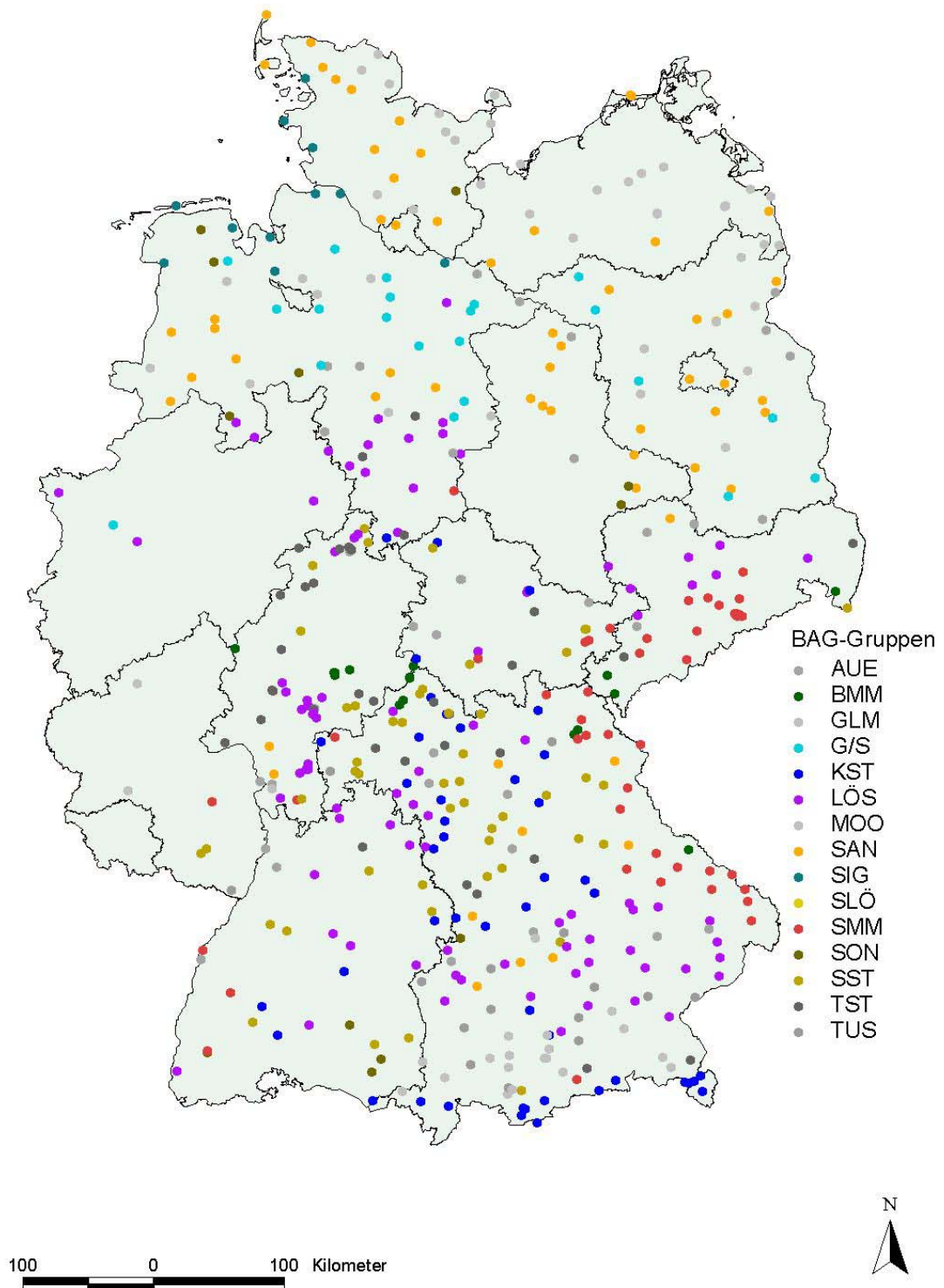


Abb. 13 : Verteilung der BDF-Standorte entsprechend den BAG-Gruppen nach UTERMANN et al. (1999), vergleiche Tab. 6 auf S. 34.

7 Ergebnisse der deskriptiven Statistik für die länderübergreifende Auswertung von Bodenparametern

Die vorgenommene länderübergreifende statistische Auswertung hatte das Ziel, statistische Parameter zur Charakterisierung der Stoffverteilung in den BDF abzuleiten und den BDF-Datensatz auf seine Eignung hinsichtlich der Auswertbarkeit zu aktuellen nationalen gesetzlichen Bezügen zu überprüfen.

Bei den Voruntersuchungen wurde festgestellt, dass die Häufigkeitsverteilungen fast aller Stoffgehalte des länderübergreifenden Datensatzes nicht symmetrisch verteilt sind. Deshalb konnten weder der Mittelwert noch die Streuung als Beschreibungsparameter der Verteilungen eingesetzt werden. Die Auswertungen wurden analog zu früheren Untersuchungen (vgl. UTERMANN et al., 1999) mit dem Median und dem 90er-Perzentilwert durchgeführt. Diese Parameter haben den Vorteil, dass sie

- unempfindlich gegen Extremwerte sind und
- die unterschiedlichen Bestimmungsgrenzen keinen Einfluss auf das Ergebnis haben (soweit mehr als die Hälfte aller Werte oberhalb der Bestimmungsgrenze liegt)

Die statistischen Auswertungen und graphischen Darstellungen wurden mit SPSS, Excel und ArcView (ESRI®) durchgeführt. Für die 624 Standorte (vgl. Tab. 7, S. 36) standen die in der Tab. 13 dargestellten Datensätze pro Parameter für die Auswertung zur Verfügung.

Tab. 13 : Vorhandene Datensätze für die ausgewählten Parameter der BDF-Datenbank.

Stoff / Parameter	Gesamtanzahl aller horizontbezogenen Datensätze größer der BG	Anzahl der ausgewerteten horizontbezogenen Datensätze der Standortdaten¹ größer der BG und Entnahmetiefe 0 bis 30 cm
Cd*	3342	1042
Cr*	4599	1262
Cu*	4636	1285
Hg*	2644	808
Ni*	4284	1105
Pb*	4414	1303
Zn*	4996	1312
TC (C _t)	3195	709
Corg	3041	810
TN (N _t)	5060	1273
P _{gesamt}	2134	348

*SM nur aus KW/ICP-Bestimmung;

¹ ohne Profildaten, ohne Auflagen

Auffällig waren die sehr heterogenen Bestimmungsgrenzen (BG), vgl. Tab. 14. Aus den Auswertungen wurden Analysenwerte mit hohen BG herausgenommen, da die technischen Möglichkeiten es erlauben, mit den heute eingesetzten Verfahren Gehalte zu bestimmen, die unter diesen BG liegen. Das betraf die BG folgender Schwermetalle:

- 2 mg/kg-TM bei Cd (dieser Wert liegt über dem Vorsorgewert der Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodSchV);
- 35 mg/kg-TM bei Cr;
- 30 mg/kg-TM bei Pb,
- alle BG > 15 mg/kg bei Ni.

Zur Auswertung der Daten wurden die aus den Datenbankabfragen der BDF-Datenbank resultierenden Ergebnistabellen (z.B. Nutzungsart, BAG-Gruppen, Bodenarten-Hauptgruppen) in das Statistikprogramm SPSS exportiert. Analysedaten, die Gehalte kleiner der Bestimmungsgrenze ausweisen, sind ebenfalls in die Auswertung einbezogen worden (vgl. Tab. 14). Dabei ist zu beachten, dass der Analysenzeitraum für die BDF mehr als 15 Jahre umfasste. Da der Median der Stoffgehalte bei allen Parametern weit über dem der Bestimmungsgrenzen der Parameter lag, ist er ebenso wie der 90er-Perzentilwert durch die BG nicht beeinflusst.

Tab. 14 : Variationsbreite der Bestimmungsgrenzen in der BDF-Datenbank.

Stoff	Maßeinheit	Bestimmungsgrenzen
Cd	mg/kg TM	0,1; 0,05; 0,03; 0,02; 0,01
Cr	mg/kg TM	5; 4; 2; 0,2
Cu	mg/kg TM	2; 1,3; 1; 0,2
Hg	µg/kg TM	100, 50, 30, 10, 1
Ni	mg/kg TM	8 ; 6 ; 2 ; 0,5 ; 0,2
Pb	mg/kg TM	17,5; 10; 8,8; 5; 2 ; 0,2
Zn	mg/kg TM	1
TC (C _t)	%	2; 1; 0,2; 0,1; 0,02; 0,01
C _{org}	%	0,1; 0,02; 0,01
TN (N _t)	%	1; 0,1; 0,09; 0,08; 0,07; 0,01
P _{gesamt}	%	0,05; 0,04; 0,02; 0,01

Die nachfolgenden Kapitel enthalten die Ergebnisse der durchgeführten statistischen Untersuchungen, die in Tabellen, Diagrammen und Karten dargestellt wurden. In diesen ersten länderübergreifenden Auswertungen der BDF sind nur die Stoffgehalte im

Oberboden untersucht worden, da die Anzahl der auswertbaren Daten für die Unterböden und Horizont-Substratkombinationen für eine länderübergreifende statistische Analyse nicht ausreichte. Der Tiefenbezug des Oberbodens erfolgte nach den Vorgaben der BBodSchV (1999) für die Nutzungsarten Acker und Grünland sowie nach den Vorgaben der LABO (1999) für die Nutzungsart Forst. Der Tiefenbezug des Oberbodens ist wie folgt definiert:

- Nutzung Acker: Entnahmetiefe ≤ 30 cm
- Nutzung Grünland: Entnahmetiefe ≤ 10 cm und
- Nutzung Forst: Entnahmetiefe ≤ 10 cm und > 0 cm (ohne Auflage).

Zur Darstellung der Stoffgehalte der Parameter sind nachfolgende Maßeinheiten in allen Tabellen und Graphiken verwendet worden:

- Cr, Cu, Ni, Pb, Zn in mg/kg-TM
- Cd, Hg in $\mu\text{g/kg-TM}$
- C, N, P in Masse-%

Aufgrund der unterschiedlichen Maßeinheiten und zur besseren graphischen Darstellung wurden die Diagramme für die Schwermetalle Cr, Cu, Ni, Pb und Zn sowie Cd und Hg getrennt. Auch die Gehalte an organischem und totalem Kohlenstoff C_{org} und TC sowie von Stickstoff TN und Phosphor P_{gesamt} sind ebenfalls immer getrennt dargestellt worden.

7.1 Schwermetall-, Kohlenstoff- und Nährstoffgehalte

Die Ziele der Boden-Dauerbeobachtung (BD) unterscheiden sich von den Zielen anderer bodenkundlicher Inventuren und Programmen, deshalb beschreiben die nachfolgenden Ergebnisse des Kapitels den länderübergreifenden aktuellen Zustand der Böden an den BDF der Länder. Mit dem länderübergreifenden BDF-Datensatz wurden die Grundlagen für eine langfristige Überwachung der Veränderungen der Böden und für die Ableitung von Prognosen der zukünftigen Entwicklung geschaffen. Außerdem erfolgten länderübergreifende Auswertungen des Oberbodens für die Schwermetall-, Kohlenstoff- und Nährstoffgehalte im Vergleich zu den Vorsorgewerten der BBodSchV (1999) und zu den HGW der LABO (2003).

Da die Schwermetalldaten des Saarlandes auf dem RFA-Verfahren beruhen, wurden diese aus der statistischen Betrachtung herausgenommen und nur für die Kartendarstellung bei der standortbezogenen Auswertung eingesetzt (vgl. Abschn. 7.1.2).

7.1.1 Darstellung der Stoffgehalte im Oberboden differenziert nach der Nutzung

Diese länderübergreifende Auswertung vermittelt einen aktuellen Überblick über die Stoffgehalte im Oberboden differenziert nach dem Kriterium Nutzungsrepräsentanz zur Auswahl der BDF-Standorte nach BARTH et al (2001).

Die Tabellen 15 und 16 sowie die Abb. 14 zeigen die Medianwerte der Stoffgehalte im Oberboden für alle BDF, differenziert nach den Hauptnutzungen Acker (A), Forst (F) und Grünland (G) an. Die graphische Darstellung der Verteilungsfunktionen der logarithmierten Werte aller Schwermetalle ist angenähert normal; bei der Nutzungsdifferenzierung treten bei Cd, Ni und Pb jedoch deutliche Abweichungen von der Lognormalverteilung auf. Die Cd-, Cu-, Ni- und Zn-Werte der Grünlandproben weisen gegenüber denen der Acker- und Forstnutzung nahezu doppelte Gehalte auf, vgl. Abb. 14. Ein genereller Vergleich der Daten mit anderen Erhebungen ist an dieser Stelle schwierig, da weitere Differenzierungen des Bodens nach Horizonten, BAG-Gruppen oder Bodenarten-Hauptgruppen dafür erforderlich wären (vgl. nachfolgende Abschnitte). Darüber hinaus werden nach dem BDF-Konzept nach BARTH et al. (2001) auch Belastungsstandorte in die Untersuchungen einbezogen.

Tab. 15 : Mediane der Schwermetallgehalte (Einheiten in mg/kg-TM, bei Hg und Cd in µg/kg-TM) im Oberboden differenziert nach den Nutzungsarten Acker, Forst und Grünland.

Nutzung	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
A	187,5	20,86	11,30	80,0	12,70	20,50	46,0
n*	419	454	468	367	473	474	474
F	100,0	15,65	8,45	129,0	8,68	48,0	37,51
n	189	222	236	122	210	236	236
G	475,0	30,00	18,98	116,5	19,95	34,0	83,63
n	134	156	156	100	156	156	156

*n = Stichprobenanzahl (gilt auch für alle folgenden Tabellen)

Die Kohlenstoffgehalte der Tab. 16 spiegeln erwartungsgemäß die Differenzierung der dort auftretenden Horizonte nach der Nutzung wieder. Die in der Tabelle aufgeführten beiden Kohlenstoffgehalte (TC und C_{org}) stammen aus verschiedenen Grundgesamtheiten und sind nicht miteinander vergleichbar.

Tab. 16 : Mediane der Kohlenstoff- und Nährstoffgehalte im Oberboden in [Masse-%] differenziert nach den Nutzungsarten Acker, Forst und Grünland.

Nutzung	TC [Masse-%]*	C _{org} [Masse-%]*	TN [Masse-%]	P _{gesamt} [Masse-%]
A	1,31	1,43	0,14	0,056
n	233	272	432	159
F	4,05	5,85	0,27	0,072
n	86	156	218	97
G	4,82	5,41	0,45	0,113
n	36	109	144	20

*TC und C_{org} stammen aus unterschiedlichen Grundgesamtheiten und sind nicht miteinander vergleichbar, vgl. auch Abb. 22 und 23.

Bei den Nutzungen von selten oder nie gepflügtem Grünland und Forsten liegen in der Regel Ah-Horizonte vor. In der Literatur werden TC-Gehalte zwischen 0,5 bis 4,5 Masse-% angegeben (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL,1998). Die ermittelten Werte von 4,05 und 4,82 Masse-% (Median) für die Nutzungen Forst und Grünland lassen sich damit gut in die Literaturwerte einordnen.

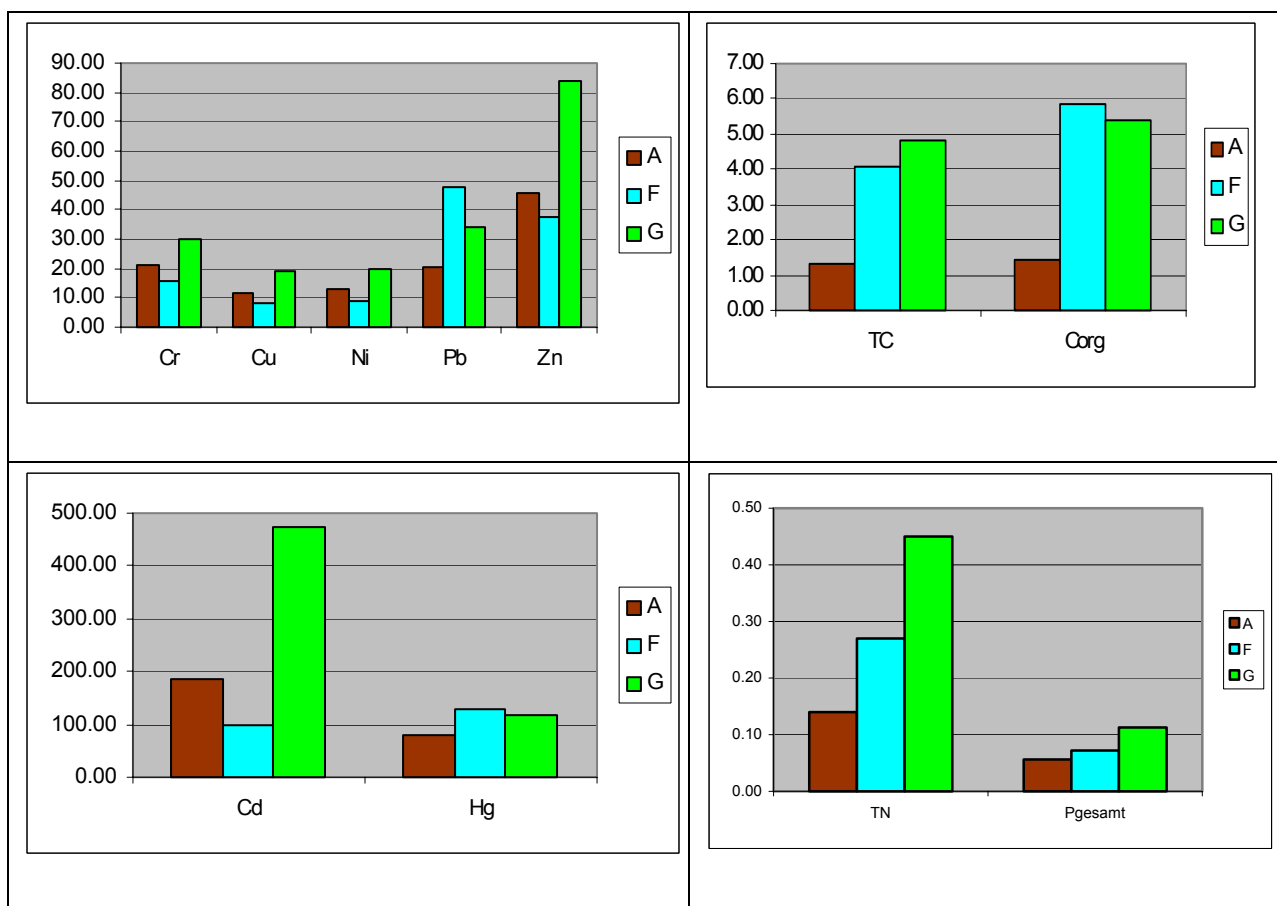


Abb. 14 : Schwermetallgehalte (Mediane) in [mg/kg-TM] und für Hg und Cd in [µg/kg-TM] sowie der Kohlenstoff- und Nährstoffgehalte in [Masse-%] im Oberboden differenziert nach den Nutzungsarten Acker, Forst und Grünland.

7.1.2 Standortbezogene Darstellung der Stoffgehalte im Oberboden der BDF

Die standortbezogene Darstellung der Stoffgehalte soll einen Eindruck ihrer regionalen Verteilung geben. Die Datenlage für die Standorte ist sehr unterschiedlich: Für etwa ein Drittel der Standorte liegt ein Einzelwert vor, der von den Ländern als repräsentativer Wert aus den BDF-Proben abgeleitet und geliefert wurde. Liegen für einen Standort zwei oder mehr Proben in der BDF-Datenbank vor, so wurde jeweils der Median des Parameters bestimmt, wobei nur der Oberboden ausgewertet wurde. (Bei zwei Proben an einem Standort stimmt der Median mit dem Mittelwert überein, bei drei Proben wird der mittlere Wert als Median ausgegeben.) Die Einzelwerte bzw. Medianwerte der Stoffparameter wurden mit ArcView als klassierte Punktsymbole in Übersichtskarten dargestellt. In den Übersichtskarten sind für die Schwermetalle auch die Messwerte einbezogen, die mit der RFA-Methode gewonnen wurden, soweit keine KW/ICP-Werte vorlagen (nur Saarland).

Mit Dreieckssymbolen wurden diejenigen BDF-Standorte gekennzeichnet, für die eine Belastungsrepräsentanz vorliegt (z. B. Aue-Sedimente, Nähe von Schadstoffquellen etc.). Ein Vergleich der Stoffgehalte für Standorte mit und ohne Belastungsrepräsentanz zeigt jedoch nur für Cd, Cr, Hg und Zn deutliche Unterschiede (Tab. 17). Standorte mit Belastungsrepräsentanz sind nach bestimmten Kriterien eingerichtet worden und weisen meist nur für die entsprechenden Schwermetalle erhöhte Werte auf, sodass es notwendig ist, die Art der Belastung im Geoinformationssystem mitzuführen, um Extremwerte entsprechend beurteilen zu können.

Tab. 17 : Stoffgehalte (Mediane) der Schwermetalle in [mg/kg-TM] und für Hg und Cd in [µg/kg-TM] im Oberboden differenziert nach Standort- oder Belastungs-Repräsentanz.

Repräsentanz	Anzahl	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Belastung		410,00	23,00	12,15	120,00	13,10	26,00	54,50
	n	97	103	110	85	111	111	111
Standort*		174,25	15,79	10,81	90,00	9,97	25,00	43,48
	n	454	484	492	414	482	497	497

*nach den Kriterien zur Standortauswahl nach BARTH et al., 2001

Durch die unterschiedliche Zahl der Datensätze/Standort und die Schiefe der Verteilungsfunktionen ist eine Angabe von Vertrauensintervallen oder die Darstellung der Variabilität am Standort (z.B. durch die Standardabweichung oder Spannweite) nicht möglich.

Die heterogene Datendichte für die verschiedenen Nutzungsarten (im Norden gibt es kaum Forst-BDF, im Süden kaum Grünlandflächen, im Westen kaum Ackerflächen) lässt eine nutzungsbezogene Interpretation der regionalen Verteilung der Stoffgehalte nicht zu.

In den **Abb. 15 bis 23** wurden die standortbezogenen Schwermetall-, Kohlenstoff- und Nährstoffgehalte im Oberboden dargestellt. Die Abbildungen beschreiben den Bodenzustand des Oberbodens anhand der Daten der Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) der Länder. Die Daten beruhen auf der Erstbeprobung der BDF-Standorte.

Nicht alle Bundesländer konnten für die in den Abbildungen dargestellten Parameter Daten bereitstellen, so dass die Übersichtskarten Lücken aufweisen. Die Gründe dafür sind vielseitig und beruhen auch auf der großen Zeitspanne zur Ersteinrichtung der BDF in den Ländern.

Pb-Verteilung im Oberboden auf den BDF-Standorten

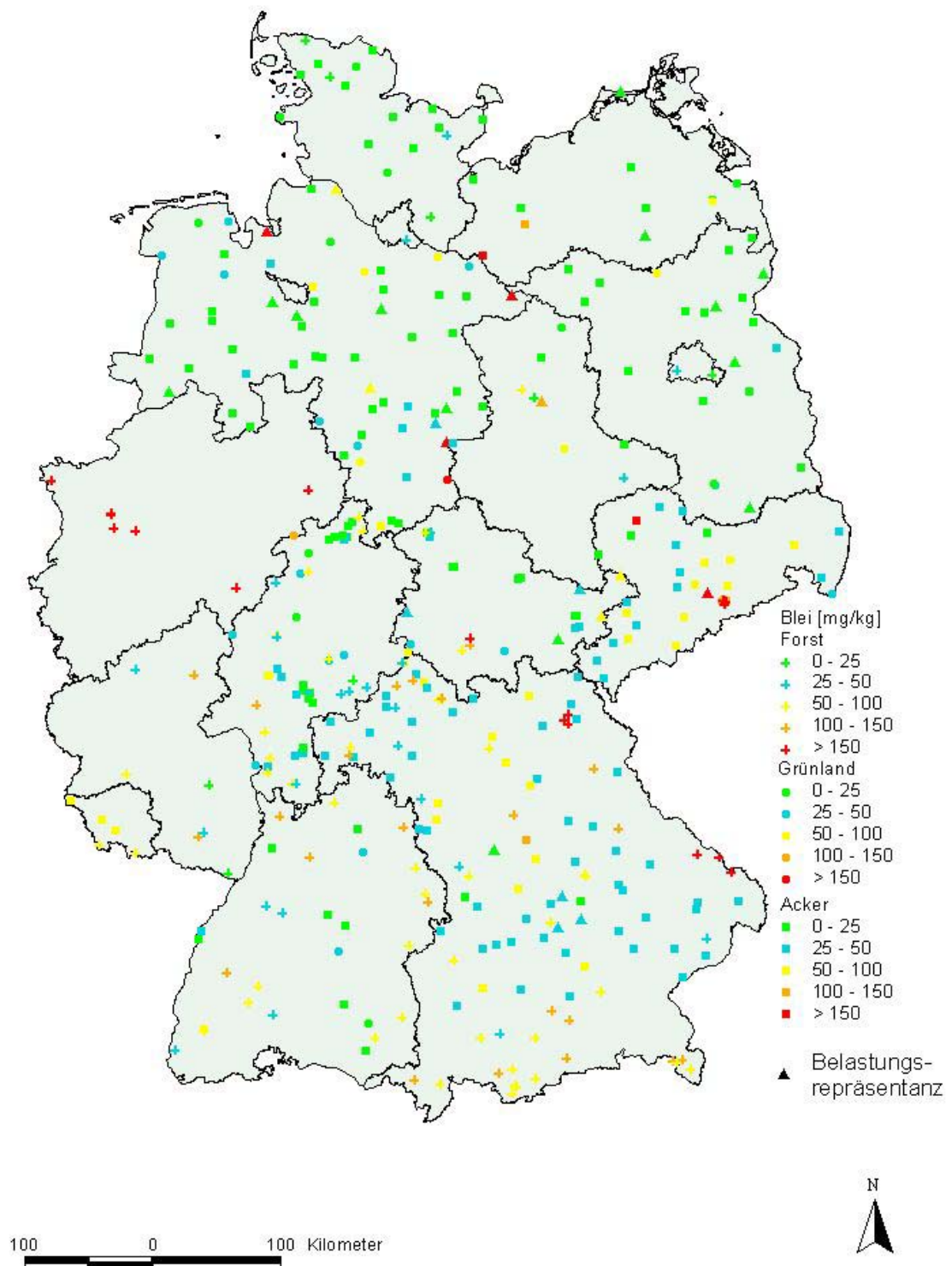


Abb. 15 : Standortbezogene Pb-Gehalte im Oberboden differenziert nach Nutzung in mg/kg-TM der BDF.

Cd-Verteilung im Oberboden auf den BDF-Standorten

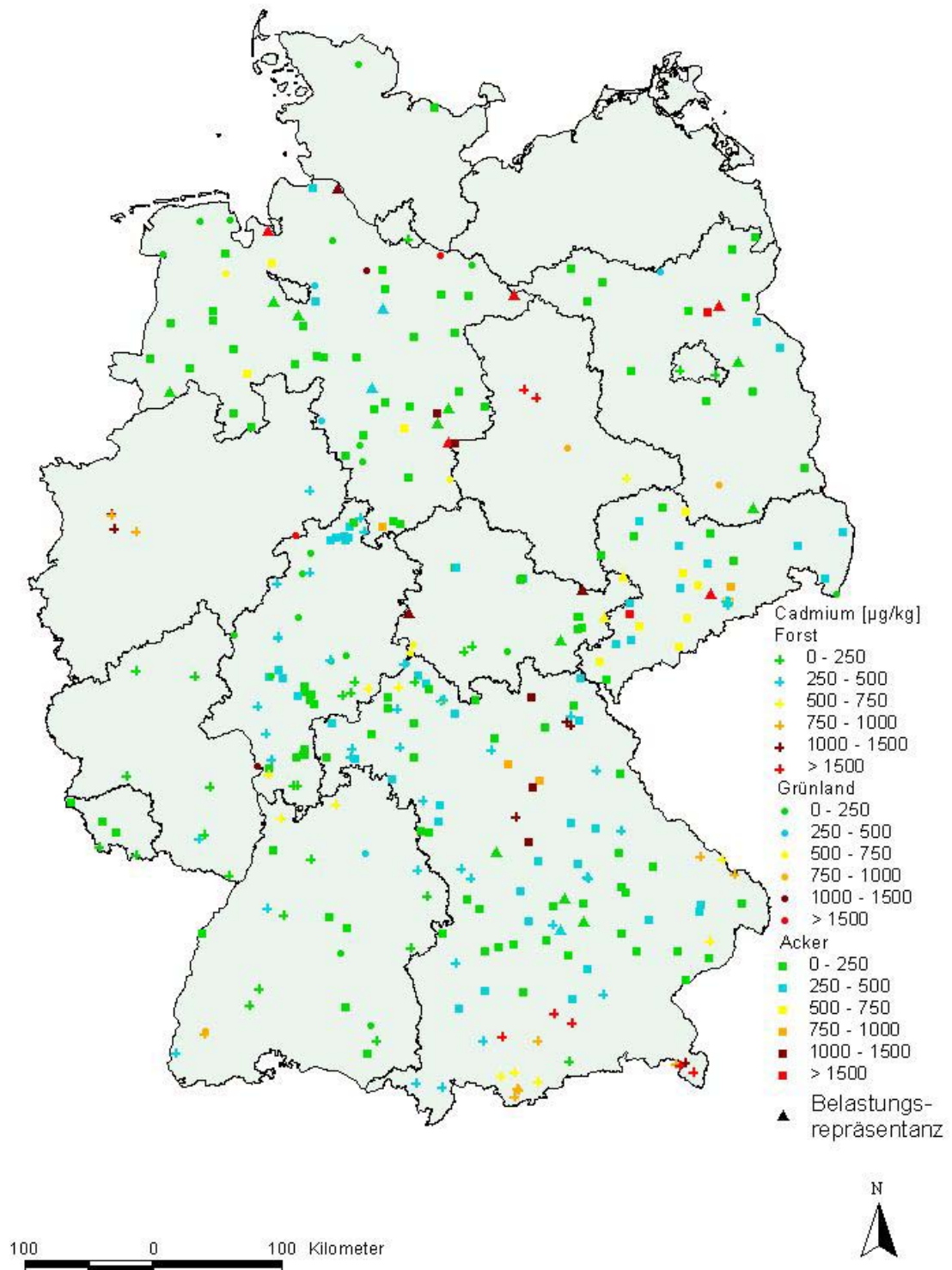


Abb. 16 : Standortbezogene Cd-Gehalte im Oberboden differenziert nach Nutzung in µg/kg-TM der BDF.

Cr-Verteilung im Oberboden auf den BDF-Standorten

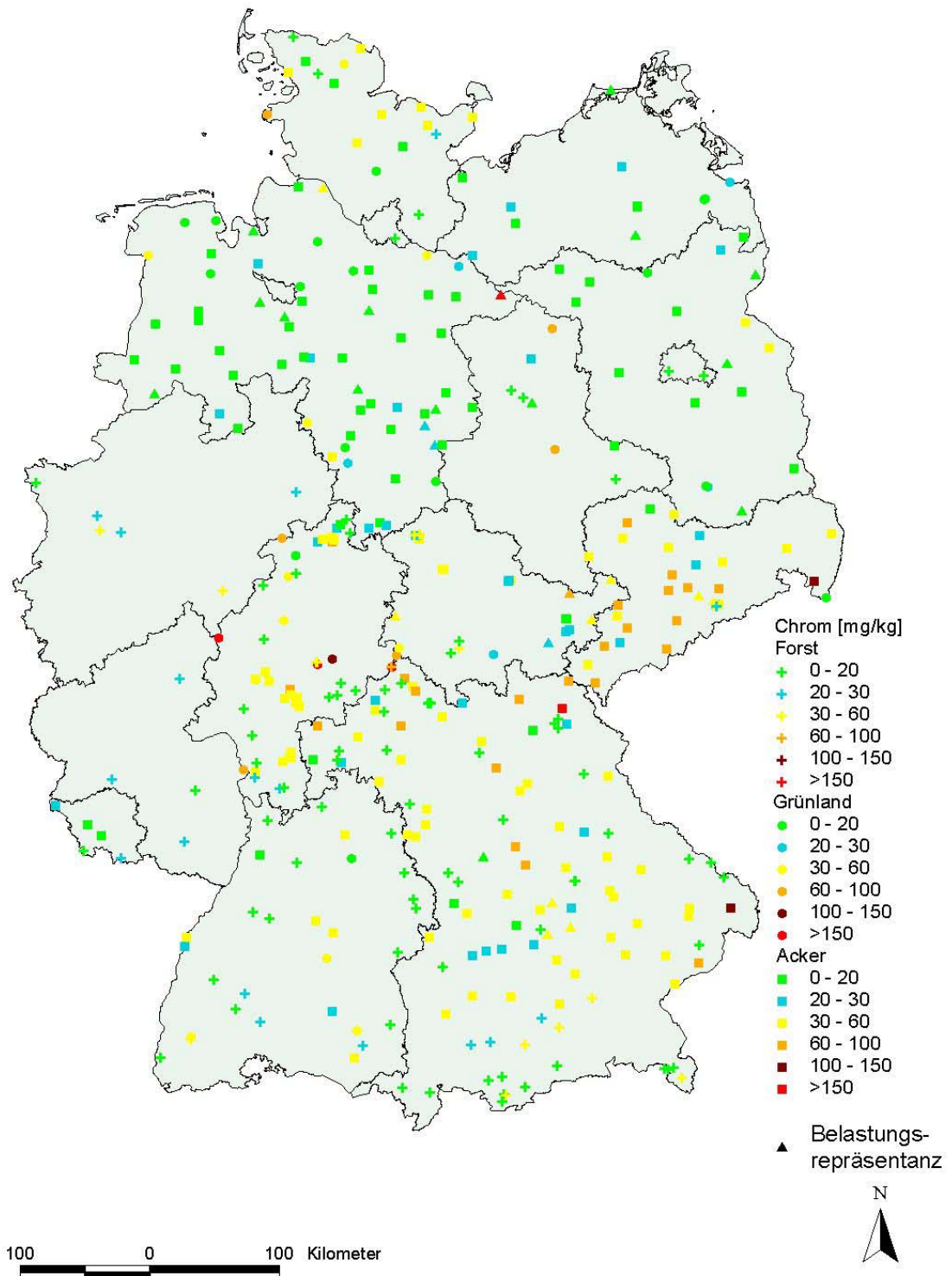


Abb. 17 : Standortbezogene Cr-Gehalte im Oberboden differenziert nach Nutzung in mg/kg-TM der BDF.

Cu-Verteilung im Oberboden auf den BDF-Standorten

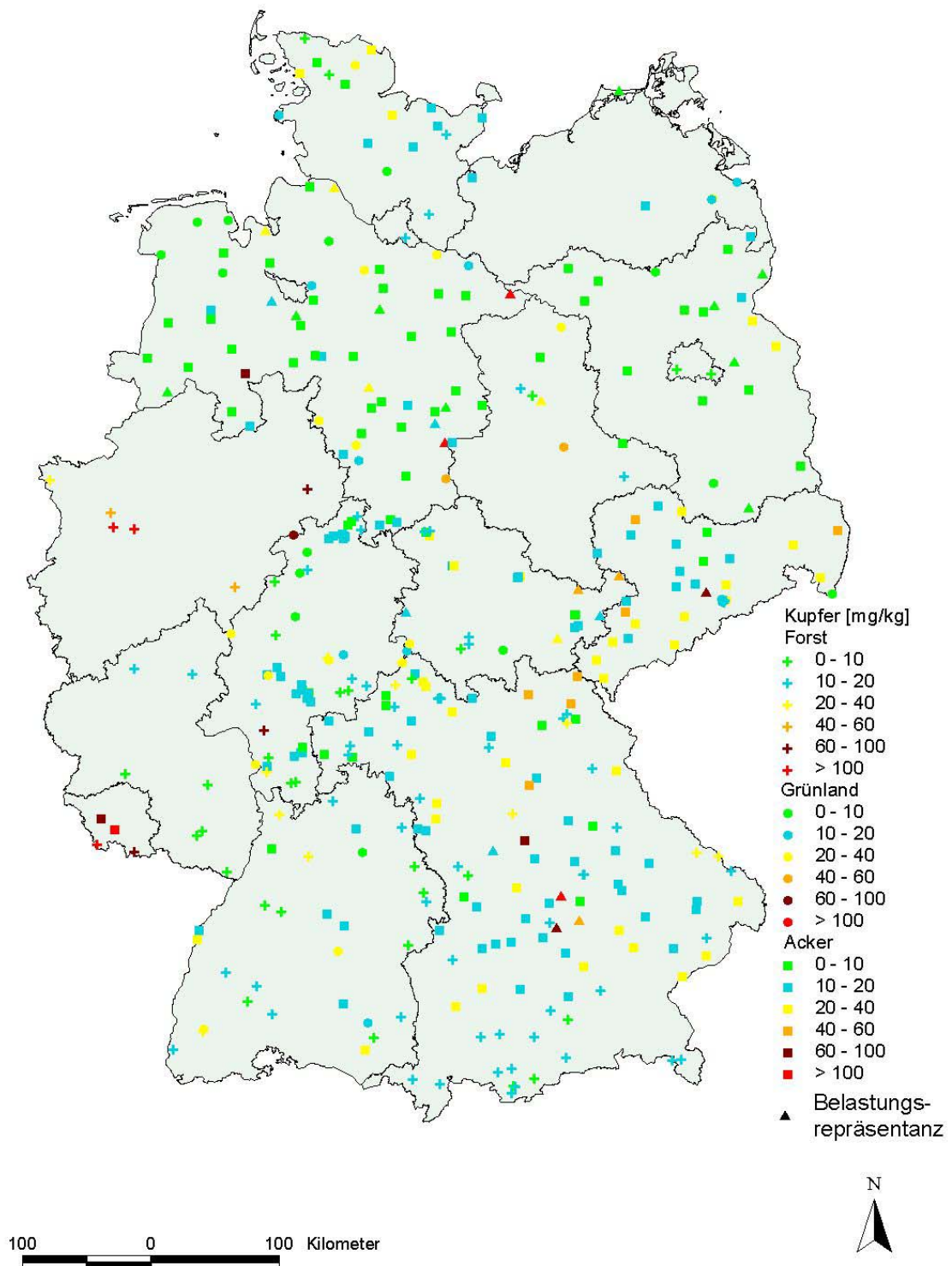


Abb. 18 : Standortbezogene Cu-Gehalte im Oberboden differenziert nach Nutzung in mg/kg-TM der BDF.

Hg-Verteilung im Oberboden auf den BDF-Standorten

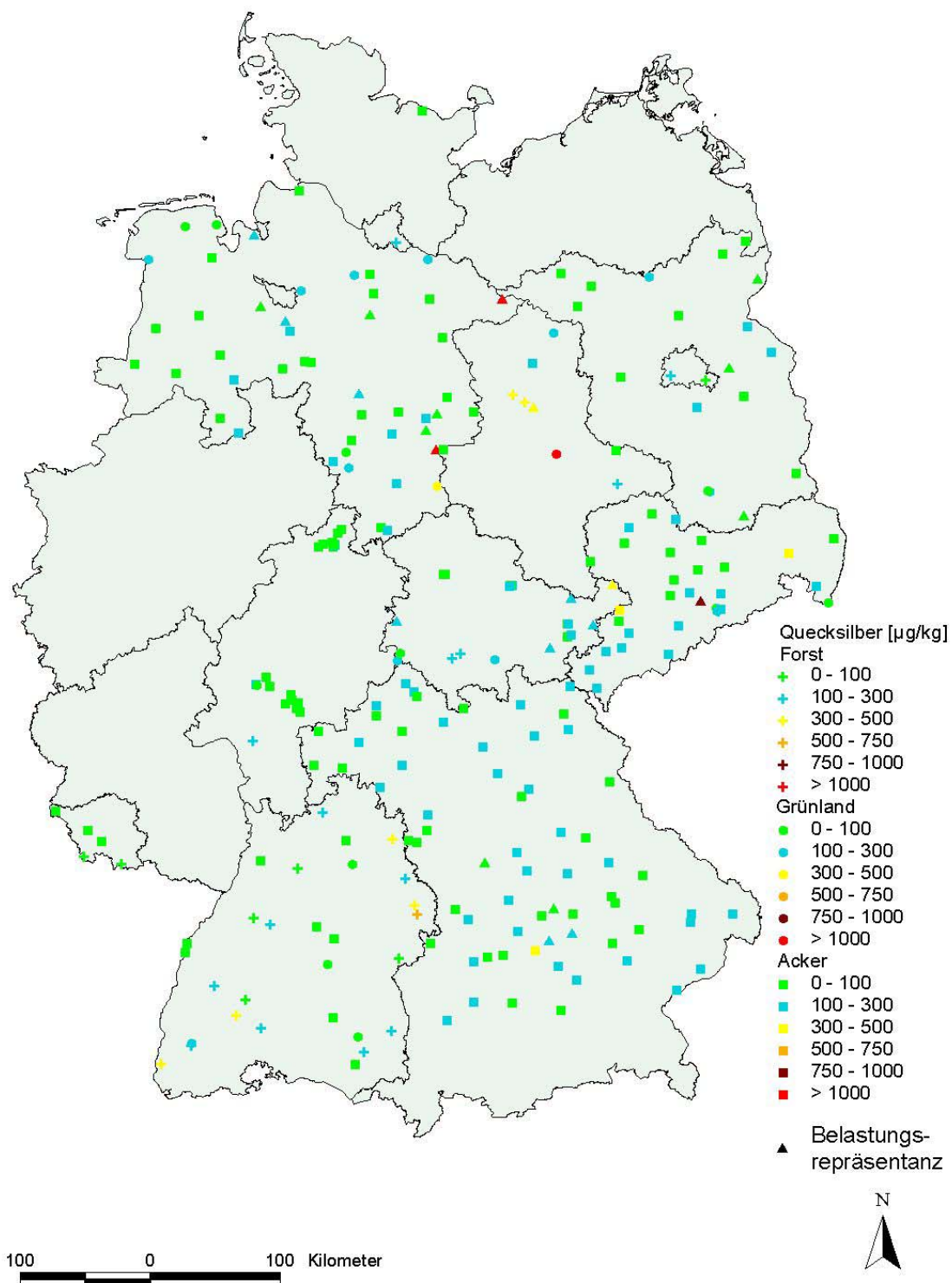


Abb. 19 : Standortbezogene Hg-Gehalte im Oberboden differenziert nach Nutzung in µg/kg-TM der BDF.

Ni-Verteilung im Oberboden auf den BDF-Standorten

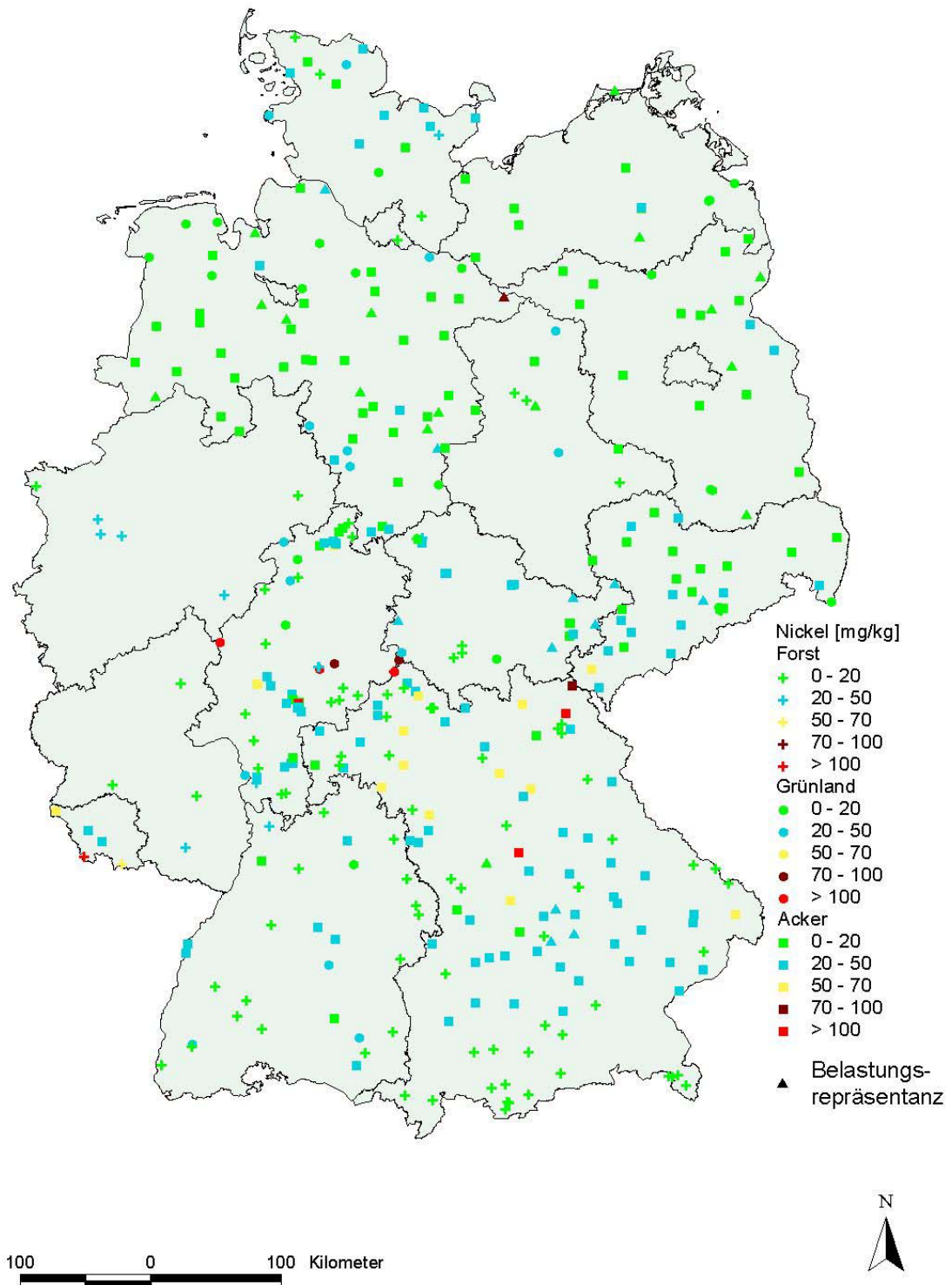


Abb. 20 : Standortbezogene Ni-Gehalte im Oberboden differenziert nach Nutzung in mg/kg-TM der BDF.

Zn-Verteilung im Oberboden auf den BDF-Standorten

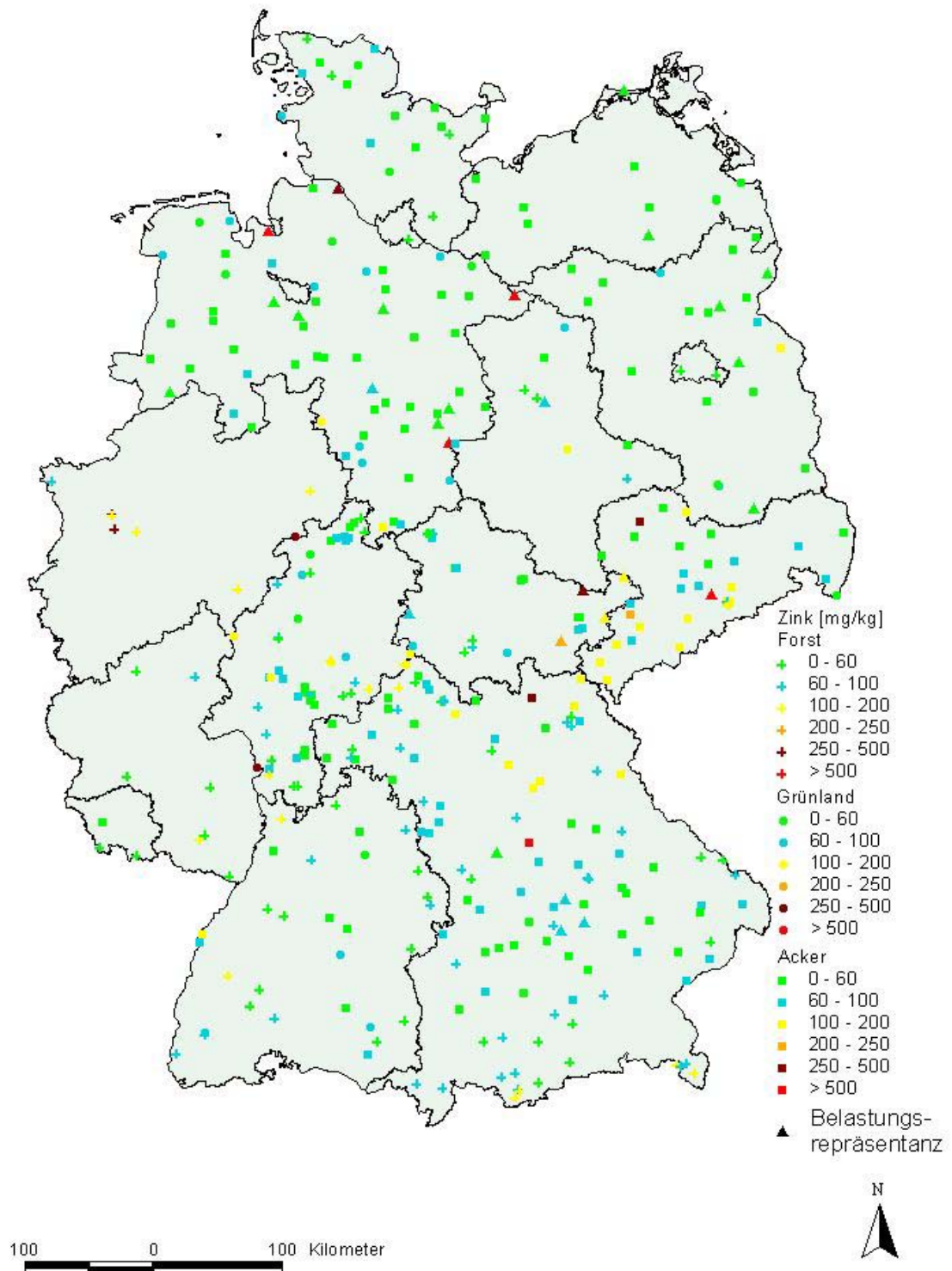


Abb. 21 : Standortbezogene Zn-Gehalte im Oberboden differenziert nach Nutzung in mg/kg-TM der BDF.

Kohlenstoff-Verteilung im Oberboden auf den BDF-Standorten

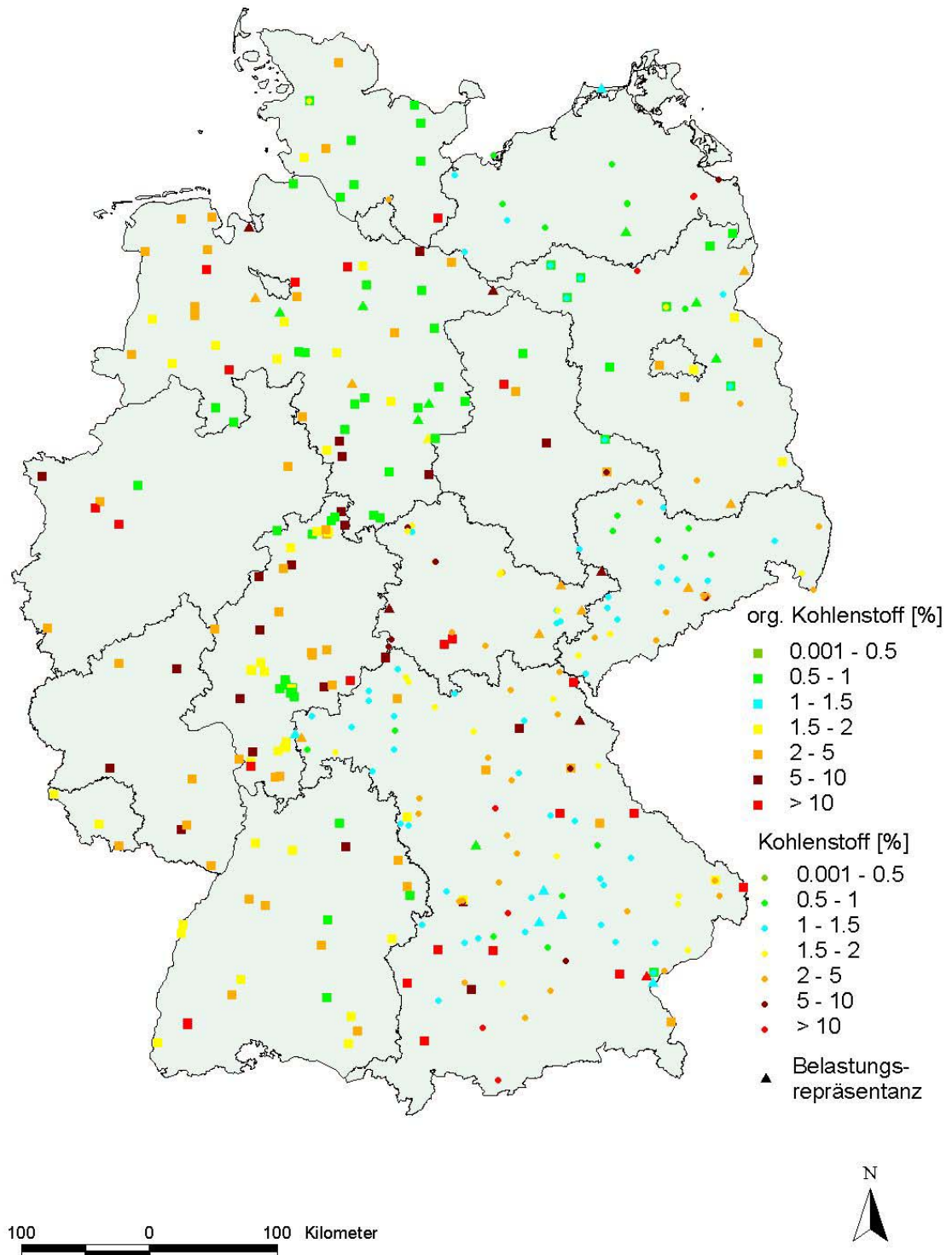


Abb. 22 : Standortbezogene Kohlenstoff-Gehalte TC und C_{org} im Oberboden in Masse-% der BDF.

Stickstoff-Verteilung (TN) im Oberboden auf den BDF-Standorten

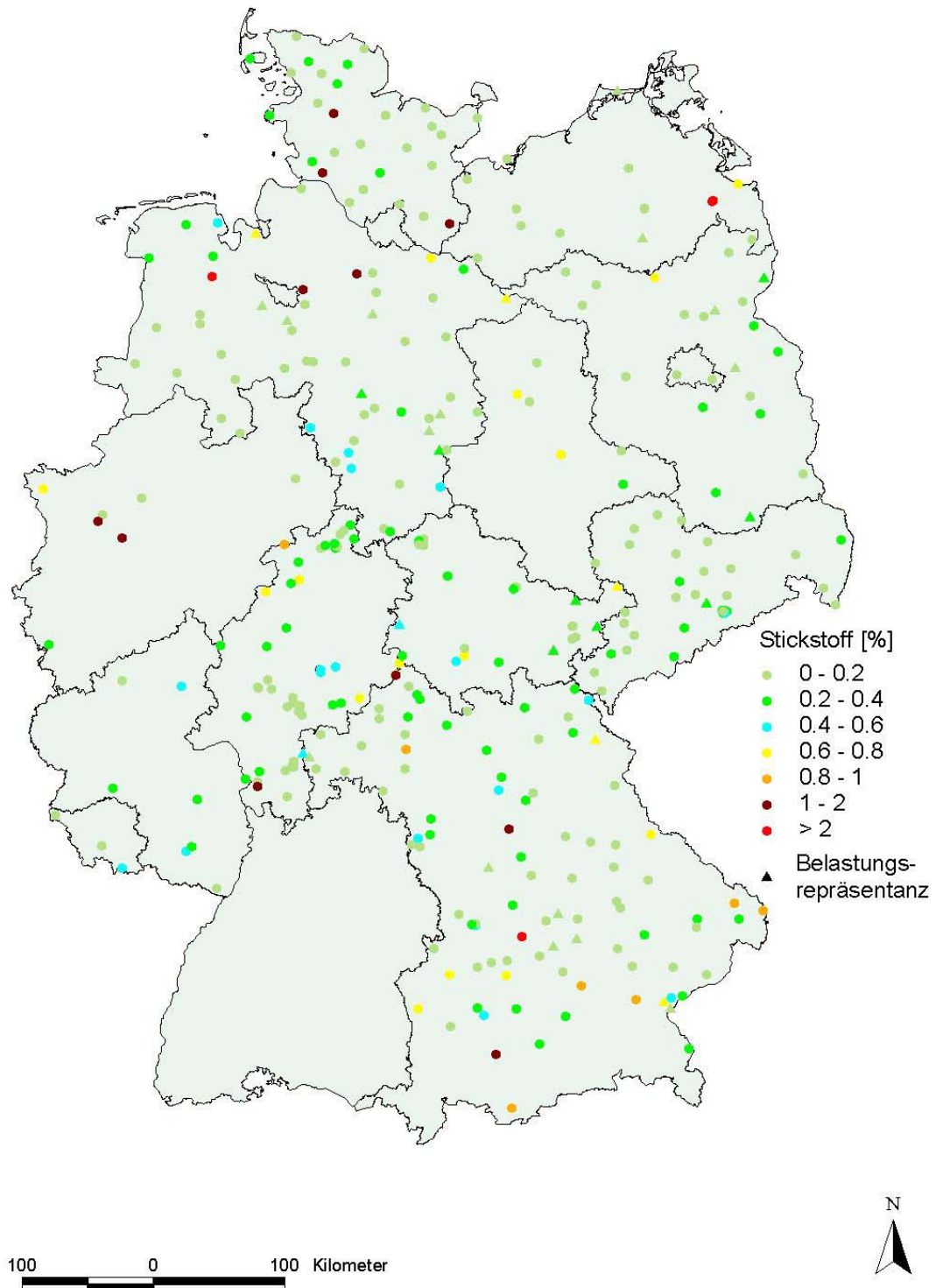


Abb. 23 : Standortbezogene Stickstoff-Gehalte (TN) im Oberboden in Masse-% der BDF.

7.1.3 Vergleich der Stoffgehalte bei Differenzierung nach Nutzung und Bodenarten-Hauptgruppen

In dieser Auswertung wurde überprüft, ob ein Vergleich des länderübergreifenden BDF-Datensatzes mit den Vorsorgewerten der BBodSchV (1999) möglich ist. Die BBodSchV weist für Schwermetalle Vorsorgewerte aus, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung von geogenen oder großflächig siedlungsbedingten Schadstoffgehalten in der Regel davon auszugehen ist, dass die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung besteht. Die Vorsorgewerte liegen differenziert nach den Bodenarten-Hauptgruppen Sand (S), Lehm/Schluff (L/U) und Ton (T) vor.

Die Einrichtung und der Betrieb der BDF, die schon in den achtziger Jahren in den alten Bundesländern begonnen wurden, hatten primär nicht das Ziel der Datenauswertung nach der BBodSchV. Deshalb konnten im Projekt nicht alle Vorgaben der BBodSchV berücksichtigt werden, z.B. bezüglich des Zusammenhangs zwischen Humusgehalt (< 8%) und pH-Wert. Eine Datenbankabfrage nach diesen Kriterien zeigte, dass zu wenig Proben vorlagen, an denen gleichzeitig die Schwermetall- und Kohlenstoffgehalte C_{org} bzw. der pH-Wert bestimmt wurden.

Die Auswertung der Daten ist in den Tabellen 18 bis 23 und in den **Abb. 24 bis 26** graphisch dargestellt worden. Die **Abb. 27 und 28** zeigen, dass diese Vorsorgewerte bei mehreren Standorten überschritten werden. Beim Vergleich der Tabellen ist zu beachten, dass die Anzahl der Proben, die in die Auswertung eingehen, unterschiedlich ist, so dass bei der Differenzierung nach Nutzung und Bodenarten-Hauptgruppe nicht dieselben Grundgesamtheiten vorliegen. Dadurch ergeben sich z.B. Unterschiede beim Median der Stoffgehalte bei der Nutzung „Acker“ und bei der Summe der Werte bei der Differenzierung nach BOART_HGR und Nutzung „Acker“ in der Zeile „Total“ (vgl. **Tab. 18 bis 23**).

Auffallend in den Graphiken sind die hohen Zn-Werte in den Grünflächen und die hohen Pb-Werte bei den Forstflächen. Für letztere sind die Pb-Werte in allen Bodenarten-Hauptgruppen höher als bei den anderen Nutzungsarten, so dass dieser erhöhte Pb-Gehalt ein wesentliches Charakteristikum der Forstflächen darstellt. Diese Anreicherung könnte damit erklärt werden, dass Pb bekannter Maßen zu einem hohen Anteil anthropogen über den Luftpfad eingetragen wird. Durch den Auskämmeffekt der Baumkronen ist eine stärkere Anreicherung unter Wald die logische Folge.

Bei Zn zeigt sich in den Bodenarten-Hauptgruppen T, L, U bei den Grünlandflächen ein deutlich höherer Median ab als bei den anderen Nutzungsarten, so dass der hohe Zn-Gehalt als charakteristisch für die Grünlandflächen angesehen werden muss (vgl. auch Kap. 7.1.1). Die Ursache für die erhöhten Zn-Gehalte ist möglicherweise auf die erhöhten Humusgehalte zurückzuführen.

Tab. 18 : Schwermetallgehalte (Mediane) im Oberboden in [mg/kg-TM], für Hg und Cd in [µg/kg-TM] differenziert nach der **Nutzung Acker** und den Bodenarten-Hauptgruppen.

BOART_HGR	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
T	290.00	52.83	19.46	103.00	38.93	30.45	76.85
n	26	26	26	23	26	26	26
L	227.50	35.18	15.13	90.00	27.75	27.00	55.08
n	70	81	80	69	81	81	81
U	260.00	39.75	16.50	100.00	26.00	31.43	63.00
n	65	71	71	63	71	71	71
S	130.00	11.70	7.00	60.00	7.60	14.90	36.90
n	73	84	104	63	103	104	104
Total	187.50	20.86	11.30	80.00	12.70	20.50	46.00
n	419	454	468	367	473	474	474

Tab. 19 : Nährstoffgehalte (Mediane) im Oberboden in [Masse-%] differenziert nach der **Nutzung Acker** und den Bodenarten-Hauptgruppen.

BOART_HGR	TC [%]	Corg [%]	TN [%]	Pgesamt [%]
T	1.78	1.65	0.20	0.12
n	16	14	25	5
L	1.56	1.00	0.16	0.07
n	65	21	73	43
U	1.44	1.40	0.15	0.09
n	50	21	66	28
S	1.11	0.90	0.11	0.04
n	92	52	94	76
Total	1.31	1.43	0.14	0.06
n	233	272	432	159

Tab. 20 : Schwermetallgehalte (Mediane) im Oberboden in [mg/kg-TM], für Hg und Cd in [µg/kg-TM] differenziert nach der **Nutzung Forst** und den Bodenarten-Hauptgruppen.

BOART_HGR	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
T	820.00	5.50	19.00	90.00	11.00	75.00	72.00
n	7	13	13	8	11	13	13
L	150.00	10.24	5.30	130.00	8.90	41.00	27.00
n	12	14	15	12	13	15	15
U	90.00	25.50	8.60	140.00	12.55	70.30	54.50
n	60	66	66	15	66	66	66
S	100.00	11.00	8.30	100.00	5.00	32.50	24.00
n	74	93	94	73	85	94	94
Total	100.00	15.65	8.45	129.00	8.68	48.00	37.51
n	189	222	236	122	210	236	236

Tab. 21 : Kohlenstoff- und Nährstoffgehalte (Mediane) im Oberboden in [Masse-%] differenziert nach der **Nutzung Forst** und den Bodenarten-Hauptgruppen.

BOART_HGR	TC [%]	Corg [%]	TN [%]	Pgesamt [%]
T	17.60	10.15	0.77	0.02
n	2	4	5	1
L	9.58	5.64	0.46	0.05
n	2	12	6	8
U	5.25	6.89	0.42	0.03
n	12	55	58	17
S	3.70	3.01	0.12	0.04
n	65	22	84	40
Total	4.05	5.85	0.27	0.07
n	86	156	218	97

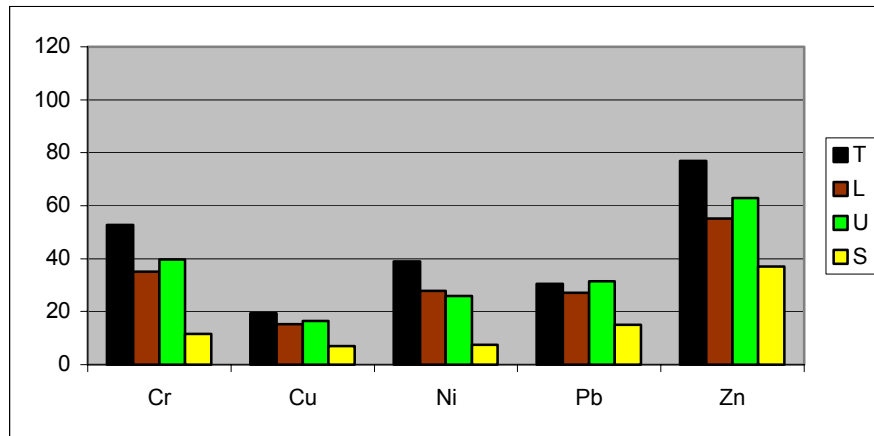
Tab. 22 : Schwermetallgehalte (Mediane) im Oberboden in [mg/kg-TM], für Hg und Cd in [µg/kg-TM] differenziert nach der **Nutzung Grünland** und den Bodenarten-Hauptgruppen.

BOART_HGR	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
T	530.00	57.05	21.29	53.00	34.70	37.25	89.75
n	3	4	4	3	4	4	4
L	660.00	47.50	21.00	140.00	30.00	44.50	118.88
n	28	30	30	27	30	30	30
U	220.00	53.75	23.00	110.00	24.50	33.70	185.71
n	32	32	32	16	32	32	32
S	285.00	20.48	5.10	79.00	2.20	15.03	18.00
n	4	17	17	6	17	17	17
Total	475.00	30.00	18.98	116.50	19.95	34.00	83.63
n	134	156	156	100	156	156	156

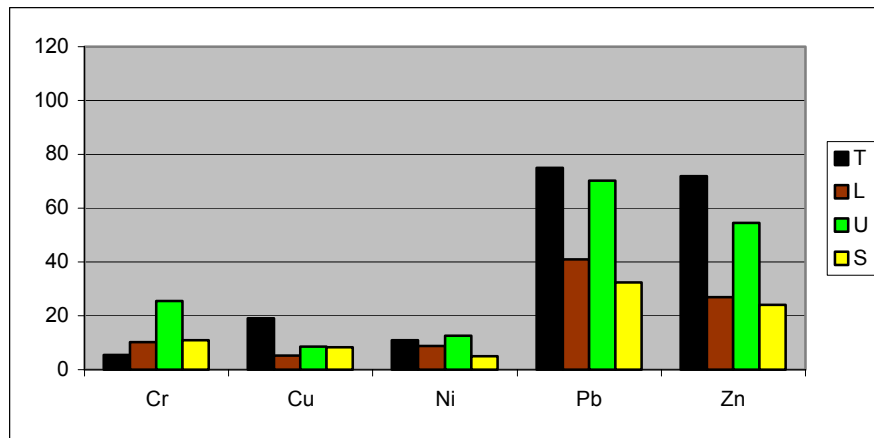
Tab. 23 : Kohlenstoff- und Nährstoffgehalte (Mediane) im Oberboden in [Masse-%] differenziert nach der **Nutzung Grünland** und den Bodenarten-Hauptgruppen.

BOART_HGR	TC [%]	Corg [%]	TN [%]	Pgesamt [%]
T	5.04	4.50	0.38	0.19
N	2	1	3	2
L	5.03	5.40	0.36	0.08
N	3	25	27	5
U	6.45	4.55	0.39	0.14
N	7	26	32	3
S	1.90		0.16	0.11
N	16		17	6
Total	4.82	5.41	0.45	0.11
N	36	109	144	20

Nutzung: Acker



Nutzung : Forst



Nutzung : Grünland

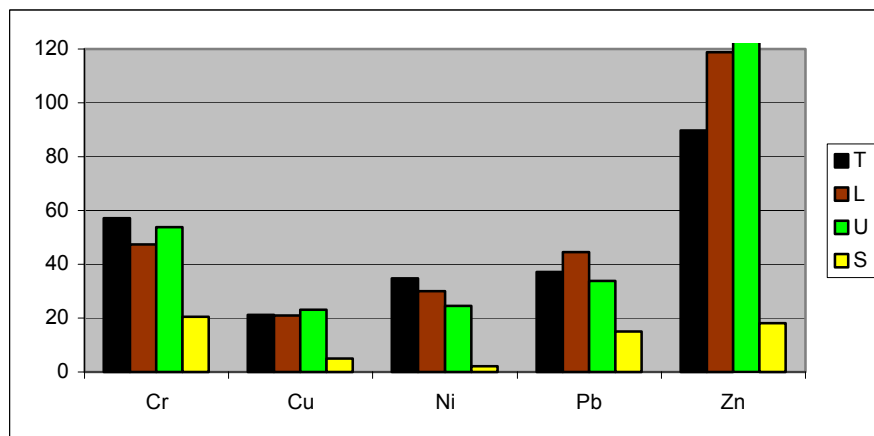


Abb. 24 : Schwermetallgehalte (Mediane) von Cr, Cu, Ni, Pb und Zn im Oberboden in [mg/kg-TM] differenziert nach der Hauptnutzung und den Bodenarten-Hauptgruppen.

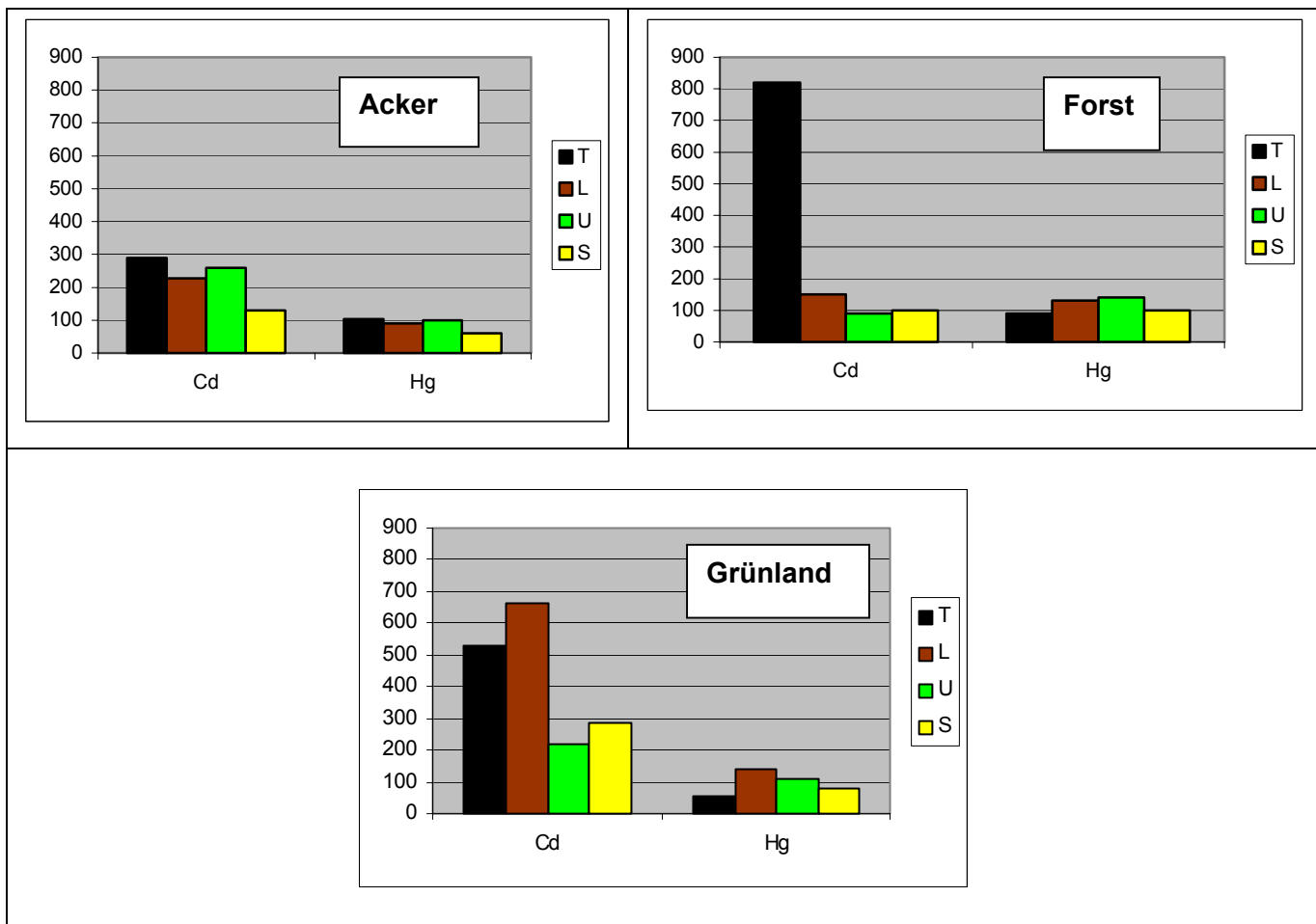


Abb. 25 : Schwermetallgehalte (Mediane) im Oberboden in [mg/kg-TM], für Hg und Cd in [µg/kg-TM] differenziert nach der Hauptnutzung und den Bodenarten-Hauptgruppen.

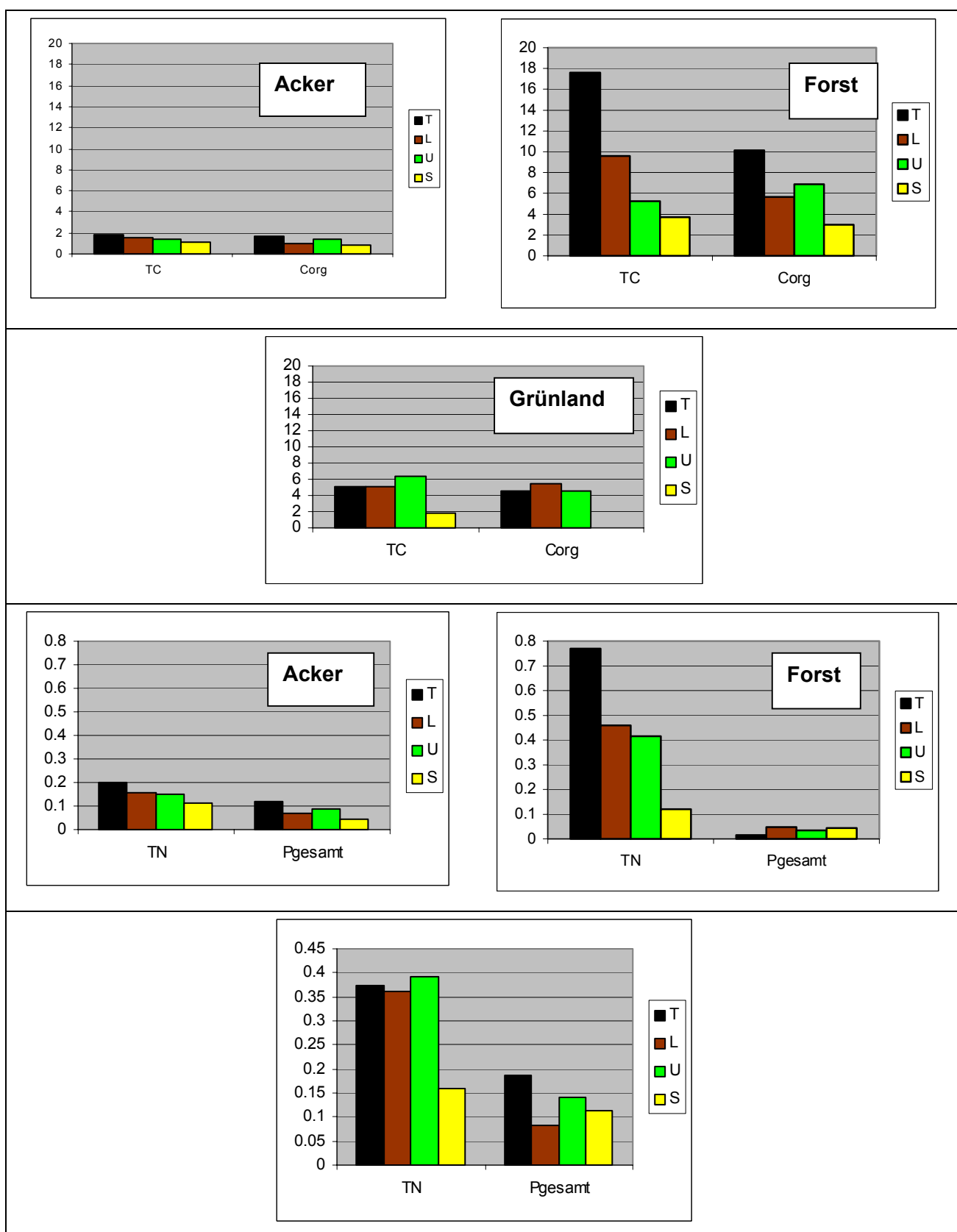


Abb. 26 : Kohlenstoff- und Nährstoffgehalte (Mediane) im Oberboden in [Masse-%] differenziert nach der Hauptnutzung und den Bodenarten-Hauptgruppen.

Die tiefenorientierte statistische Auswertung und Bewertung der anorganischen Schadstoffgehalte in Oberböden erfolgte nach den Vorsorgewerten der BBodSchV (1999), Tab 4.1: Vorsorgewerte für Metalle, unter Berücksichtigung der Bodenarten-Hauptgruppen in Form von Box-Whisker-Plots, vgl. **Abb. 27 und 28**. Sie zeigen die Variabilität der Schwermetallgehalte differenziert nach den Vorgaben der BBodSchV auf. Die Medianwerte der Schwermetallgehalte lagen erwartungsgemäß unter den der Vorsorgewerte der BBodSchV. Eine Ausnahme bildete Quecksilber für die Bodenarten-Hauptgruppe Sand, hier liegt der Median beim Vorsorgewert.

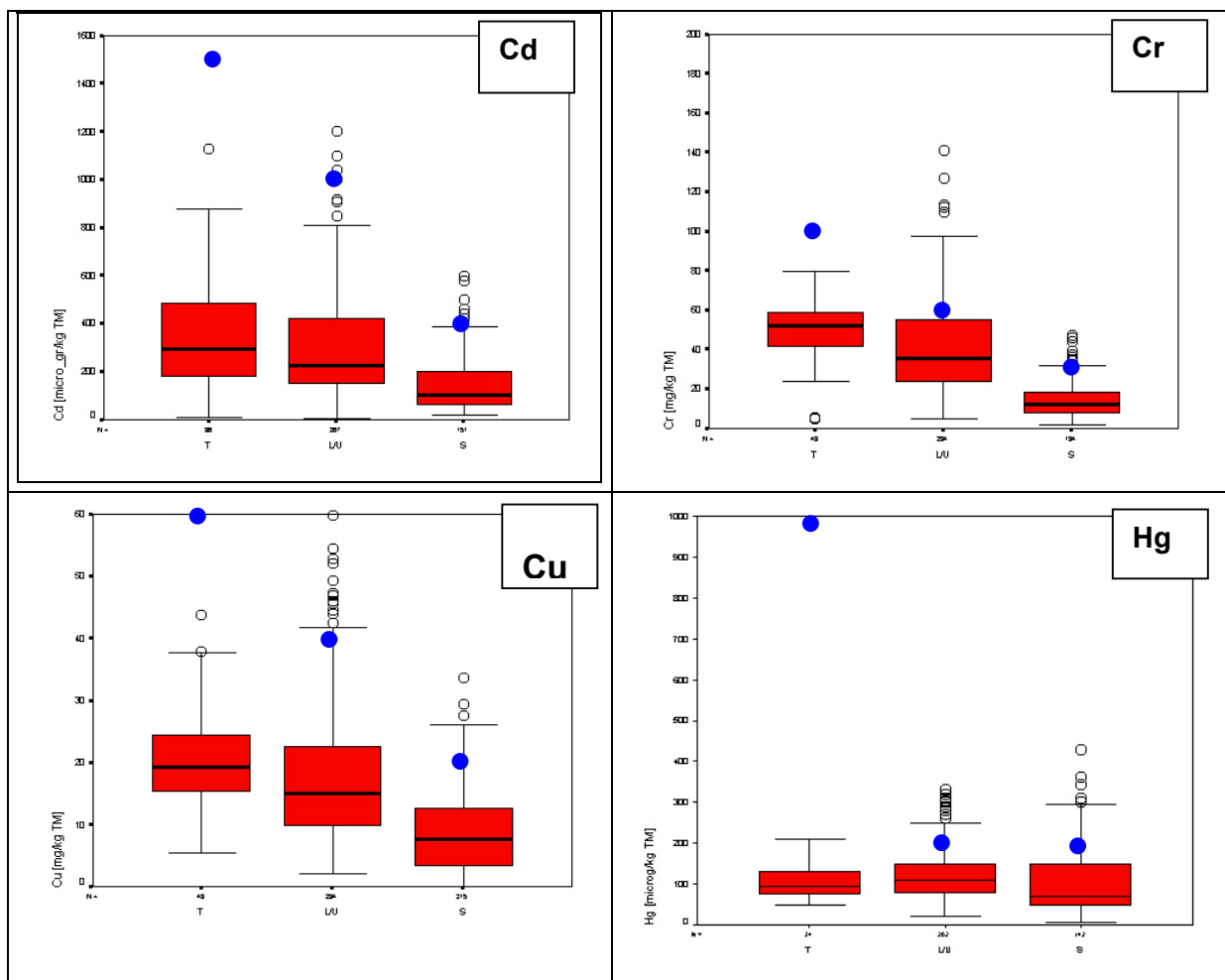


Abb. 27 : Box-Whisker-Plots der Schwermetallgehalte (Mediane) Cu und Cd im Oberboden in [mg/kg-TM] und für Hg und Cd in [µg/kg-TM] differenziert nach den Bodenarten-Hauptgruppen. Erläuterung in Abb. 28 und im Text.

In den Abbildungen wurden die Bodenarten-Hauptgruppen Lehm und Schluff zu L/U entsprechend der BBodSchV zusammengefasst. Die Vorsorgewerte sind als

Punktsymbole an den entsprechenden Grenzwerten eingetragen, aber die angegebenen Werte stellen nur Orientierungspunkte dar.

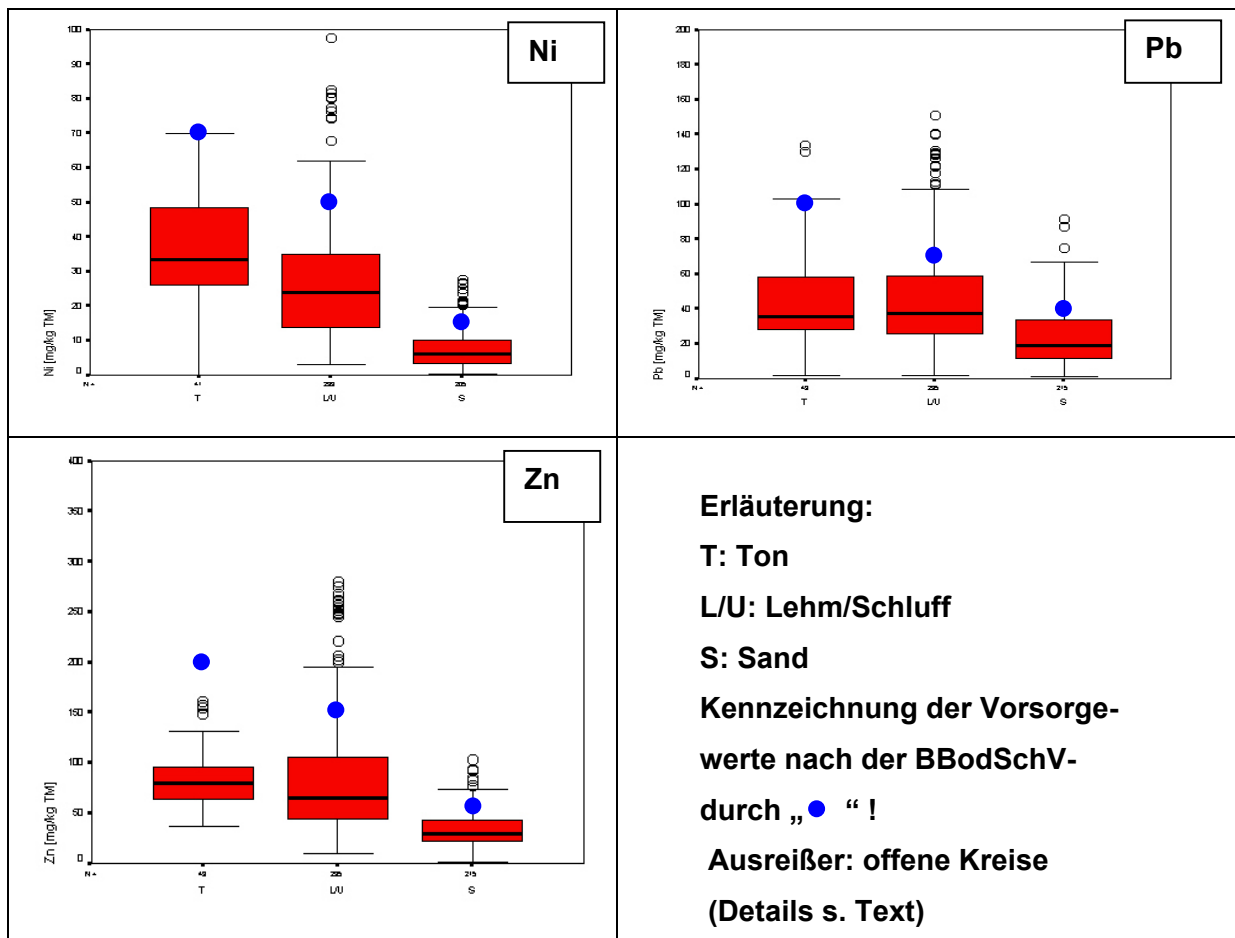


Abb. 28 : Box-Whisker-Plots der Schwermetallgehalte (Mediane) Ni, Pb und Zn im Oberboden in [mg/kg-TM] differenziert nach den Bodenarten-Hauptgruppen.

In den Box-Whisker-Plots umfasst das Rechteck die Interquartile (25% und 75%); der Strich im Rechteck stellt den Median dar. Die Balken („whiskers“) trennen die Grundpopulation von den Ausreißern und Extremwerten, d.h. die Balken geben Minimum und Maximum der Werte ohne die Ausreißer und Extremwerte an.

Ausreißer sind Werte, die das 75. Perzentil bzw. das 25. Perzentil um mehr als das 1,5-fache des Interquartilabstandes (d.h. 75. Perzentil - 25. Perzentil) über- bzw. unterschreiten. **Extremwerte** sind Werte, die das 75. Perzentil bzw. das 25. Perzentil um mehr als das 3-fache des Interquartilabstandes über- bzw. unterschreiten (vgl. LABO 2003).

In den Diagrammen sind nur die Ausreißer (offene Kreise) dargestellt, um den wesentlichen Teil der Variabilität der Stoffparameter zu verdeutlichen. Obwohl die Mediane der Stoffgehalte der Gruppe Lehm/Schluff durchweg kleiner (Ausnahme: Hg) sind als die von Ton, ist ihre Variabilität deutlich größer, sodass der Vorsorgewert von vielen Proben erheblich überschritten wird. Trennt man Lehm und Schluff, um homogenere Gruppen zu bilden, so zeigen die entsprechenden Boxplots, dass beide Bodenarten-Hauptgruppen eine ähnlich hohe Variabilität besitzen und dadurch keine Verbesserung der Kontrolle der Vorsorgewerte erreicht wird. In den Graphiken fällt auch auf, dass die Vorsorgewerte für die Bodenarten-Hauptgruppe „Ton“ alle im Bereich der Ausreißer liegen, für „Sand“ alle innerhalb und für Hg nur wenig über dem Median!

7.1.4 Vergleich der Stoffgehalte bei Differenzierung nach Bodenausgangsgesteinsgruppen (BAG-Gruppen)

Mit dieser Auswertung sollte überprüft werden, inwieweit der länderübergreifende BDF-Datensatz differenziert nach den von der LABO empfohlenen Bezugsgrößen für anorganische Stoffe in Böden mit den HGW der LABO (2003) vergleichbar ist. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die BDF nicht zur Ermittlung von HGW konzipiert wurden.

Um eine Vergleichbarkeit mit den HGW nach LABO (2003) herzustellen und die Variabilität der Stoffgehalte innerhalb der Bodenausgangsgesteins-Gruppen (BAG-Gruppen) zu charakterisieren, wurden Mediane und 90er-Perzentilwerte der Schwermetallgehalte differenziert nach Nutzung und BAG-Gruppen berechnet (vgl. Tab. 24). Die länderübergreifenden Ergebnisse zu den HGW der LABO (2003) beziehen sich auf die siedlungsstrukturelle Gebietstypisierungen der Bundesanstalt für Bauwesen und Raumordnung. Ein Vergleich der Schwermetallgehalte dieses Projektes wurde mit den Schwermetallgehalten der LABO (2003) des Typs III, die sich auf dieselben Tiefenstufen und BAG-Gruppen beziehen, vorgenommen. Umrechnungen der Schwermetallgehalte in Abhängigkeit vom angewandten Verfahren (Totalgehalte oder KW/ICP-Methode) wurden nicht vorgenommen.

In den **Abb. 29 bis 31** wurden die Mediane der BDF und die Ergebnisse aus dem LABO-Bericht zu den HGW (LABO, 2003) für die auswertbaren Gesteinsgruppen vergleichend dargestellt. Die Übereinstimmung ist für alle Gesteinsgruppen und Parameter sehr gut. Auffällige Unterschiede gibt es bei Cr in den Gruppen TST, LÖS und SAN, bei Pb in der Gruppe SAN und bei Zn in den Gruppen LÖS und SAN. Die Vergleichswerte der Totalgehalte sind erwartungsgemäß i. d. Regel größer als die Werte der BDF-Untersuchung. Die Differenz der jeweiligen Median-Messpaare lässt wegen der großen Vertrauensintervalle für den Median keinen quantitativen Rückschluss auf den geogenen Anteil in den jeweiligen Gesteinsgruppen zu.

Wie in Kap. 7.1.1 ausgeführt, fällt der hohe Zn-Gehalt in den Gesteinsgruppen LÖS und Sandstein (SST) differenziert nach der Nutzung Grünland auf. Auch für Cr und Ni in der BAG-Gruppe BMM sind bei der Nutzung Grünland erhöhte Werte vorhanden. Die Gründe für eventuelle Belastungen sind vielschichtig und vor allem lokal bedingt. Sie entziehen sich damit einer Interpretation im Maßstab einer länderübergreifenden Auswertung.

Tab. 24 : Schwermetallgehalte differenziert nach BAG-Gruppen und Nutzung für Cd und Hg in [µg/kg-TM] sowie Cr, Cu, Ni, Pb und Zn in [mg/kg-TM].

AUE					BMM				
		50	90	n			50	90	n
Cd	A	285.00	10300.00	38	Cd	A	360		4
	G	1100.00	13860.00	31		F	290		9
Cr	A	33.18	65.00	39	Cr	G	220		7
	G	71.00	243.20	32		A	109.5		4
Cu	A	16.83	298.00	39	Cu	F	86.6		9
	G	29.55	357.80	32		G	155.8		7
Hg	A	105.00	1128.00	32	Hg	A	34.7		4
	G	290.00	19910.00	18		F	33.4		9
Ni	A	27.70	41.33	39	Ni	G	22		7
	G	30.50	70.28	32		A	120		4
Pb	A	25.00	2157.00	39	Pb	A	42.4		4
	G	39.00	321.50	32		F	80		9
Zn	A	66.00	3389.00	39	Zn	G	104		7
	G	218.31	1658.20	32		A	33.65		4
						F	111.2		9
						G	49.6		7
						A	108.95		4
						F	150.5		9
						G	131.5		7
G/S					KST				
		50	90	n			50	90	n
Cd	A	65.00	300.00	64	Cr	A	39.75	65.40	19
	G	250.00		6		F	31.00		5
Cr	A	7.84	15.50	69	Cu	G	47.38		2
	F	6.70		3		A	21.20	43.83	19
Cu	G	12.30		7	Ni	F	16.80		5
	A	7.23	11.90	69		G	30.81		2
Hg	F	3.60		3	Pb	A	40.75	66.68	19
	G	2.71		7		F	18.00		5
Ni	A	60.00	90.90	56	Zn	G	38.00		2
	F	35.00		2		A	55.83	65.33	19
Pb	G	259.00		3	Zn	F	51.27		5
	A	2.43	9.60	69		G	37.25		2
Zn	F	3.20		3	Zn	A	87.85	149.00	19
	G	0.99		7		F	63.00		5
Pb	A	17.10	23.40	69	Zn	G	89.75		2
	F	24.10		3					
Zn	G	13.16		7					
	A	25.40	43.20	69					
Zn	F	25.10		3					
	G	11.57		7					

n = Stichprobenanzahl;

Tab. 24 : Fortsetzung, Schwermetallgehalte differenziert nach BAG-Gruppen und Nutzung für Cd und Hg in [µg/kg-TM] sowie Cr, Cu, Ni, Pb und Zn in [mg/kg-TM].

LÖS					MOO				
		50	90	n			50	90	n
Cd	A	193.75	660.00	94	Cd	A	327.50		9
	F	177.00		7		F	665.00		4
	G	0.00		7		G	730.00	1485.50	14
Cr	A	26.15	53.48	94	Cr	A	7.38		9
	F	19.40		7		F	40.85		4
	G	30.70		7		G	14.80	34.94	20
Cu	A	12.70	21.03	94	Cu	A	14.30		9
	F	6.60		7		F	39.85		4
	G	18.90		7		G	13.20	38.49	20
Hg	A	93.00	165.00	89	Hg	A	237.00		9
	F	105.00		4		G	160.00	1897.40	11
	G	125.00		7	Ni	A	3.36		9
Ni	A	19.80	43.48	93		F	29.65		4
	F	13.00		7		G	6.21	14.42	20
	G	27.80		7	Pb	A	33.50		9
Pb	A	26.50	40.19	94		F	73.10		4
	F	59.90		7		G	49.67	86.82	20
	G	52.00		7	Zn	A	30.10		9
Zn	A	54.79	71.95	94		F	96.50		4
	F	38.00		7		G	56.80	108.86	20
	G	82.00		7					
SAN					SIG				
		50	90	n			50	90	n
Cd	A	95.00	419.00	60	Cd	A	460.00		8
	F	107.00	2125.00	28		G	1270.00	4880.00	21
Cr	A	7.05	22.84	72	Cr	A	27.98	60.32	11
	F	10.32	21.43	44		G	33.52	55.26	22
	G	20.48	54.00	13	Cu	A	7.87	24.64	11
Cu	A	7.48	18.59	82		G	19.46	36.20	22
	F	6.80	18.39	45	Hg	G	109.00	308.80	17
	G	5.10	13.07	13	Ni	A	25.90	40.28	11
Hg	A	57.50	198.00	47		G	18.40	34.10	22
	F	128.00	306.44	33	Pb	A	11.90	34.19	11
Ni	A	3.65	20.42	84		G	37.95	319.90	22
	F	8.97	18.20	36	Zn	A	67.35	78.42	11
	G	2.15	12.79	13		G	80.50	698.18	22
Pb	A	9.35	28.88	84					
	F	27.00	118.76	45					
	G	10.93	25.20	13					
Zn	A	26.30	58.24	84					
	F	22.80	78.22	45					
	G	14.97	50.01	13					

Tab. 24 : Fortsetzung. Schwermetallgehalte differenziert nach BAG-Gruppen und Nutzung für Cd und Hg in [µg/kg-TM] sowie Cr, Cu, Ni, Pb und Zn in [mg/kg-TM].

SST						TST				
	NUTZ	50	90	n				50	90	n
Cd	A	207.50	735.50	11		Cd	A	240.00	418.00	20
	F	80.00	288.00	51			F	80.00	838.00	16
	G	160.00	269.60	15			G	190.00	.	9
Cr	A	28.30	54.01	14		Cr	A	37.70	79.95	21
	F	17.00	21.44	46			F	31.05	62.32	16
	G	23.00	37.48	15			G	21.00	.	9
Cu	A	10.31	20.93	14		Cu	A	17.90	49.96	21
	F	4.30	8.38	51			F	10.10	24.16	16
	G	18.00	26.40	15			G	22.60	.	9
Hg	A	95.00	157.00	11		Hg	A	100.00	164.00	21
	F	100.00	330.00	17			G	90.00	.	7
	G	100.00	110.00	13		Ni	A	31.50	115.68	21
Ni	A	23.91	52.43	14			F	23.65	53.76	16
	F	6.77	30.00	45			G	25.10	.	9
	G	20.00	37.00	15		Pb	A	27.90	59.88	21
Pb	A	30.62	41.38	14			F	96.70	129.42	16
	F	45.00	71.08	51			G	31.80	.	9
	G	24.00	31.60	15		Zn	A	73.50	130.06	21
Zn	A	47.73	114.65	14			F	60.70	157.92	16
	F	25.00	62.77	51			G	73.90	.	9
	G	111.00	302.20	15						

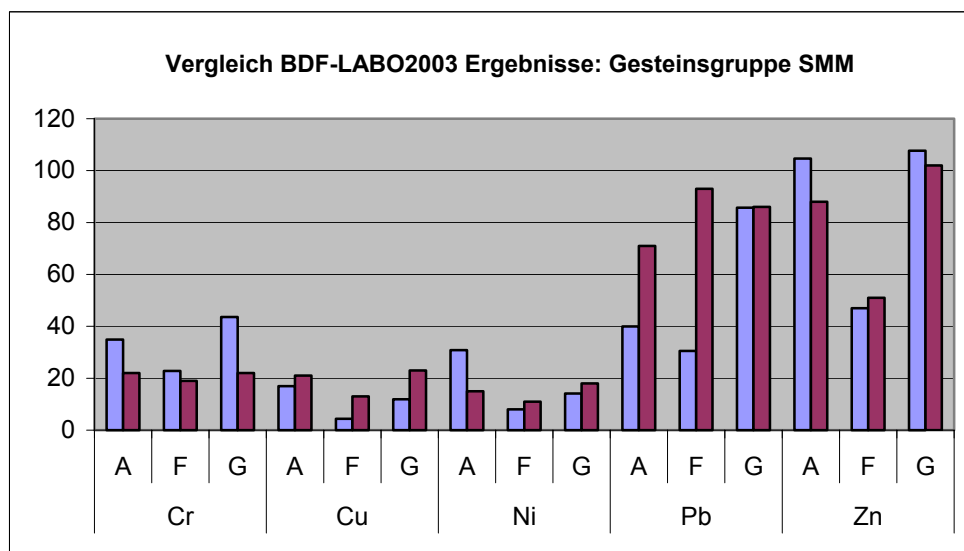
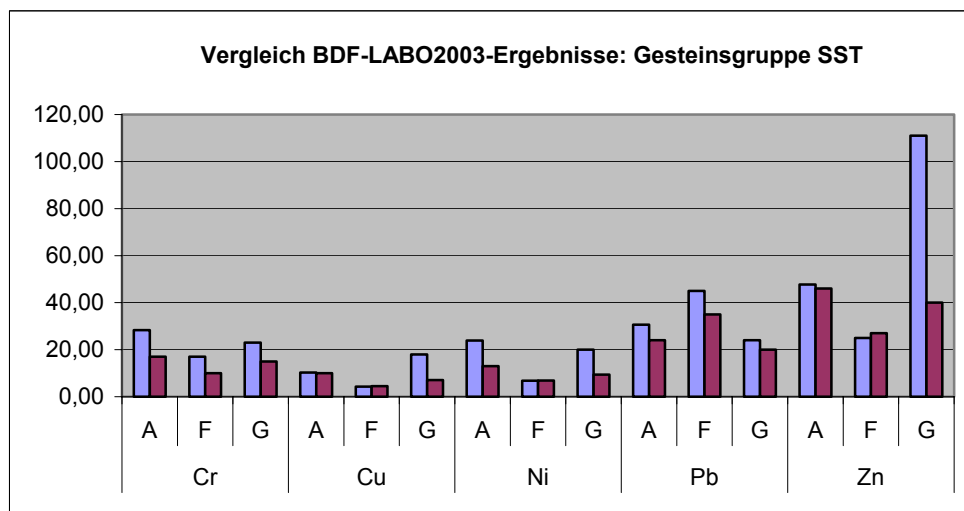
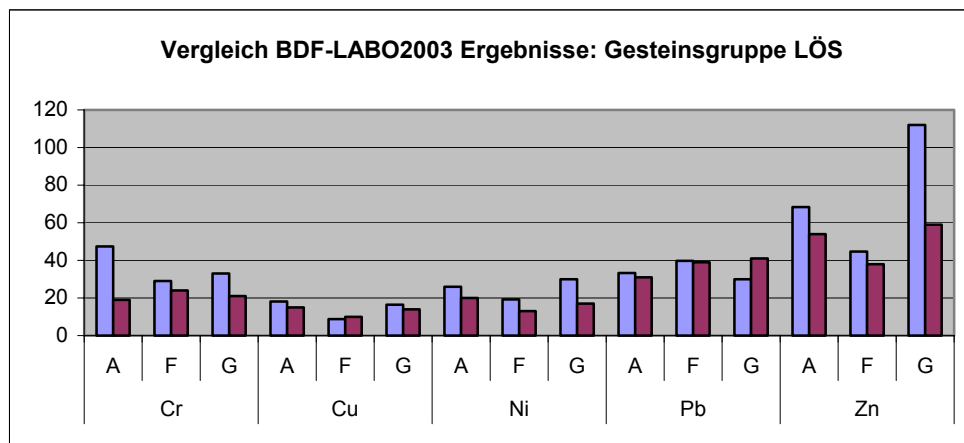


Abb. 29 : Vergleich der Stoffgehalte (Mediane) von Cr, Cu, Ni, Pb und Zn in [mg/kg-TM] im Oberboden in Bezug zur Nutzung und den BAG-Gruppen TST, SMM und KST. Links: die BDF-Werte, rechts die Ergebnisse nach LABO (2003).

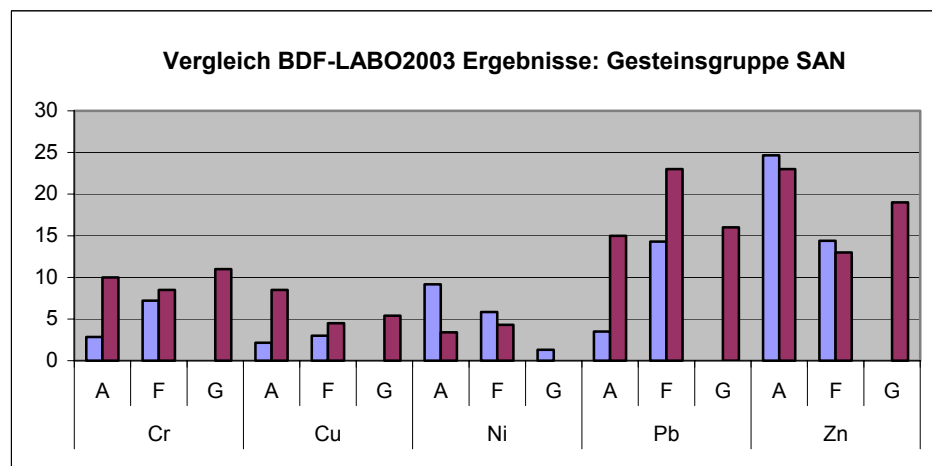
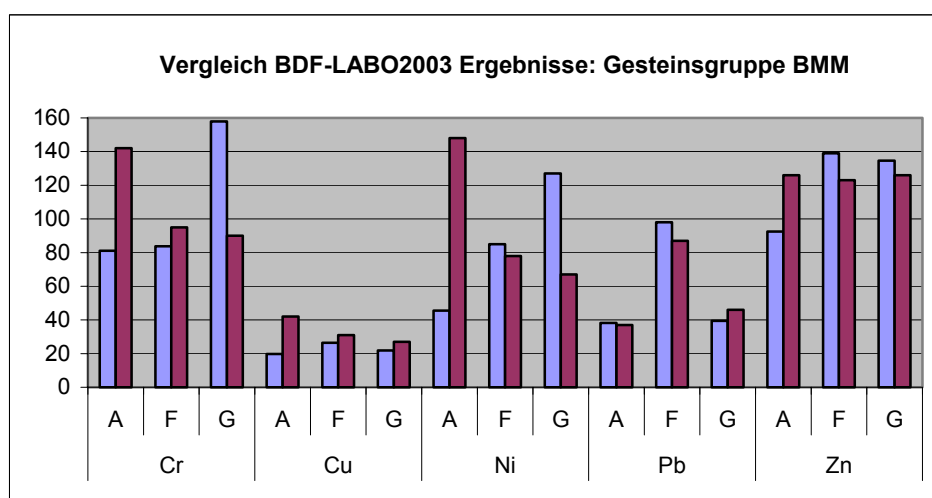
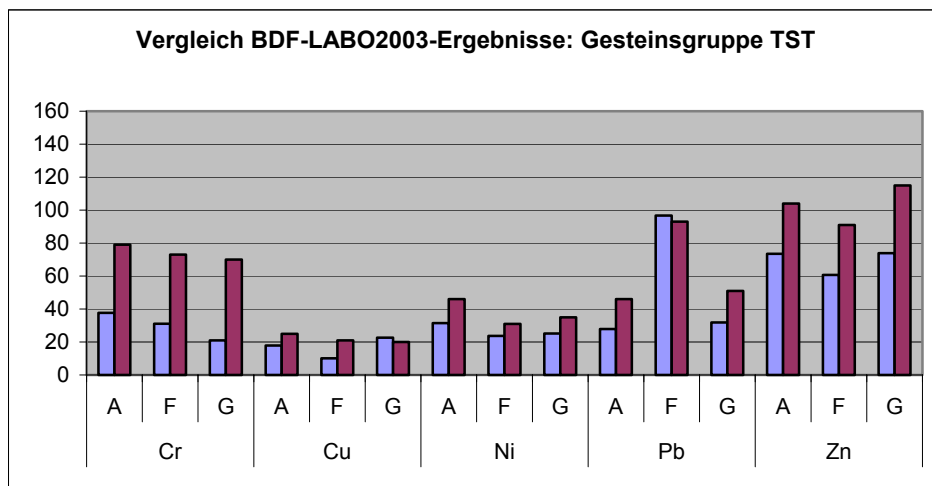


Abb. 30 : Vergleich der Stoffgehalte (Mediane) von Cr, Cu, Ni, Pb und Zn in [mg/kg-TM] im Oberboden in Bezug zur Nutzung und den BAG-Gruppen LÖS, SAN und BMM. Links: die BDF-Werte, rechts die Ergebnisse nach LABO (2003).

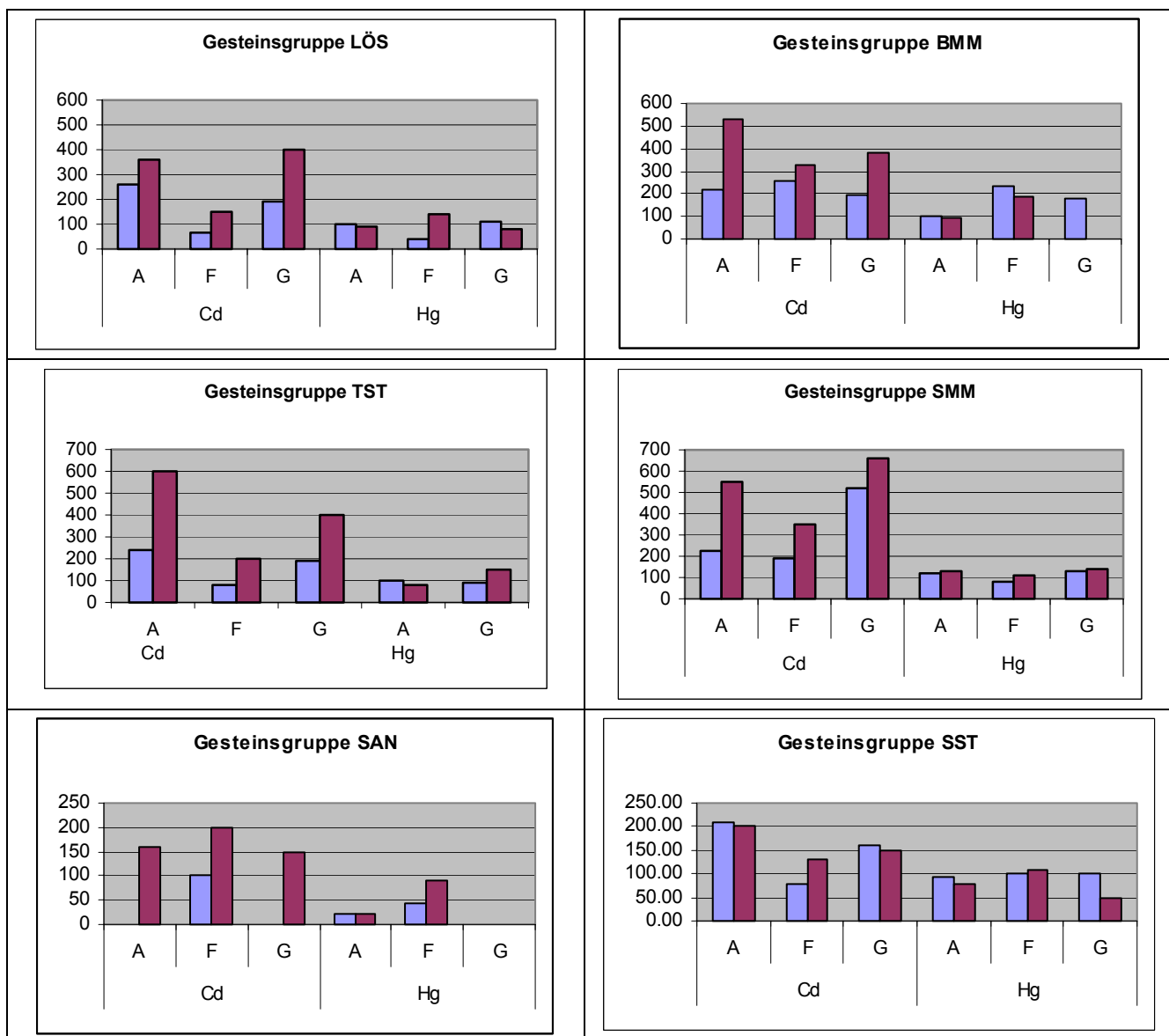


Abb. 31 : Vergleich der Cd und Hg-Gehalte (Mediane) in [µg/kg-TM] im Oberboden bei verschiedenen BAG-Gruppen. Links: die BDF-Werte, rechts die Ergebnisse nach LABO (2003).

7.2 Statistische Betrachtungen zum BDF- Monitoring

Um zeitliche Veränderungen des Bodenzustands in Deutschland erfassen zu können, müssen die in der BDF-Konzeption nach BARTH et al. (2001) festgelegten Stoffparameter (z. B. Schwermetalle) zu verschiedenen Zeitpunkten analysiert und verglichen werden, wobei gewisse Mindestanforderungen zu gewährleisten sind:

- Vergleichsdaten sollten möglichst in festgelegten Zeitfenstern vorliegen
- Die Daten sollten mit derselben Messmethode erhoben werden (die BG können variieren)
- Für jeden BDF-Standort sollten alle Messdaten digital in einer DB vorliegen, um Untersuchungen über die lokale Variabilität der Stoffparameter vornehmen zu können
- Die Messdaten sollten das Untersuchungsgebiet möglichst repräsentativ abdecken
- Angaben zur Belastungssituation, zu den Bodenausgangsgesteinen und Gruppen sowie zum Gebietstyp sollten für jeden Standort vorliegen.

Die jetzt vorliegende BDF-Datenbank könnte als Vergleichs-Datensatz für das BDF-Monitoring verwendet werden – auch wenn die zeitliche Homogenität der Datenaufnahme nicht gegeben ist. Vorab müssten die Daten der einzelnen BDF-Standorte einer genauen Prüfung auf Homogenität und Repräsentanz unterzogen werden, so dass ein Standard für den Vergleich mit neu erhobenen Daten vorliegt. Eine wichtige Rolle fällt dabei den Ländern zu, die anhand der vorliegenden Daten diese Prüfung gezielt vornehmen können.

Für das Monitoring kann folgende Ausgangssituation angenommen werden:

Für alle BDF-Standorte liegt ein harmonisierter Datensatz für die dargestellten Parameter vor. Aus diesem werden – differenziert nach Nutzungsarten, Bodenausgangsgesteinen, den BAG-Gruppen, den Bodenarten-Hauptgruppen und dem Gebietstyp - unter Berücksichtigung lokaler Belastungseinflüsse - nachfolgende statistische Kenngrößen abgeleitet:

- Median und 90er-Perzentilwert (vgl. LABO 2003) für die Beschreibung der Stoffgehalte
- die Quartilwerte P75 und P25 für die Beschreibung der Variabilität

Diese Kenngrößen werden mit denen neu erhobener Messwerte verglichen und auf signifikante zeitliche Veränderungen getestet.

Zur Analyse von Messdaten, die zu verschiedenen Zeitpunkten erhoben wurden, bieten sich folgende Methoden an:

- (1) Die Berechnung von Vertrauensintervallen für den Median und die Prüfung auf signifikante Unterschiede
- (2) Vergleich der Verteilungsfunktionen, gebildet an den vergleichbaren Standorten (Perzentilwerte-Vergleich)
- (3) Analyse von Stichprobenpaaren, die in zeitlichem Abstand gemessen wurden (Differenzenstatistik, Vorzeichentests)
- (4) Anpassung einer theoretischen Verteilung (z.B. Logonormal-Verteilung) und Anwendung verteilungsabhängiger Parameter-Tests

Da der vorliegende Datensatz keine zeitabhängige Differenzierung erlaubt, werden die angeführten Methoden an anderen passenden Beispielen beschrieben.

Zu (1):

Mediantests (allgemeiner: Quantiltests) beruhen im Wesentlichen auf der Einteilung der Daten in zwei Klassen, wobei die Daten in Klasse 1 kleiner sind, als ein bestimmter Wert (z.B. Median), Klasse 2 größer. Damit kann man viele Fragestellungen mit Hilfe der Binominalverteilung behandeln.

Ein einfaches Verfahren zum Vergleich von Medianwerten findet sich bei SACHS, Kap. 3 (1972): Man berechnet das Vertrauensintervall für den Median für ein bestimmtes Signifikanzniveau. Dazu ordnet man die Messwerte in aufsteigender Größe $x_1, x_2, \dots, x_n$ und berechnet die Hilfsgröße h :

$$h = \frac{n - z\sqrt{n} - 1}{2}$$

wobei n die Zahl der Messwerte ist und z ein Faktor, der vom Signifikanzniveau α abhängt ($z = 1,96$ für das 95%-Vertrauensintervall). Der Median liegt dann mit Wahrscheinlichkeit $1 - \alpha$ im Intervall $[x_h, x_{n-h}]$, d.h. die Messwerte mit den Ordnungszahlen h und $n-h$, stellen die untere und obere Vertrauensgrenze dar. Tab. 25 zeigt als Beispiel die Vertrauensintervalle für die Medianwerte der Schwermetalle im Oberboden (Nutzung Acker, vgl. Tab. 18, S. 71). Man erkennt, dass trotz der großen Datenzahl die Vertrauensgrenzen recht weit sind, so dass nur relativ große Änderungen nachgewiesen werden können. Weitere einfache Tests für den Medianvergleich (etwa über eine Vierfeldertafel) findet man bei SACHS (1972); genauere Tests für bestimmte theoretische Verteilungsfunktionen und beliebige Perzentilwerte bei David (1981, Chapt. 2).

Tab. 25 : 95% Vertrauensgrenzen für die Medianwerte der Schwermetallgehalte im Oberboden.

	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Median	187.5	20.9	11.3	80.0	12.7	20.5	46.0
n	419	454	468	367	473	474	474
h	189	206	212	164	215	215	215
n-h	230	248	256	203	258	259	259
U95	160.0	17.1	10.3	78.0	10.7	19.7	41.0
O95	200.0	23.5	12.1	90.0	15.5	22.0	47.2

Zu (2):

Der visuelle Vergleich von Verteilungsfunktionen ist eine Möglichkeit, um schnell einen Eindruck zu bekommen, ob zwei Verteilungen gleich sind oder ob es sich lohnt, einen statistischen Test anzuwenden, der die Nullhypothese auf Gleichheit der Verteilungen prüft. (Nutzungsart: Ackerland). h und n-h sind die Ordnungszahlen und U95 bzw. O95 die zugehörigen Messwerte für die untere und obere Vertrauensgrenze.

Die visuelle Analyse der Verteilungsfunktionen kann Veränderungen deutlich machen, die bei einem Parametervergleich nicht signifikant nachweisbar sind. In **Abb. 32** (links) sind die Verteilungsfunktionen von Pb im Oberboden und die von Pb bei einer (hypothetischen) Erhöhung der Pb-Gehalte um 10% eingetragen. Die Medianwerte für Pb liegen bei 31 mg und 34 mg Pb. Berechnet man die 95%-Vertrauensintervalle für den kleineren Medianwert, so ergibt sich das Intervall (27,9; 34,2), d.h. der größere Medianwert liegt innerhalb dieses Intervalls und die Nullhypothese (Gleichheit der Medianwerte) kann nicht zurückgewiesen werden. Der Differenzentest (s.u. (3)) bestätigt dieses Ergebnis ohne Rechnung, da alle Differenzen positiv sind.

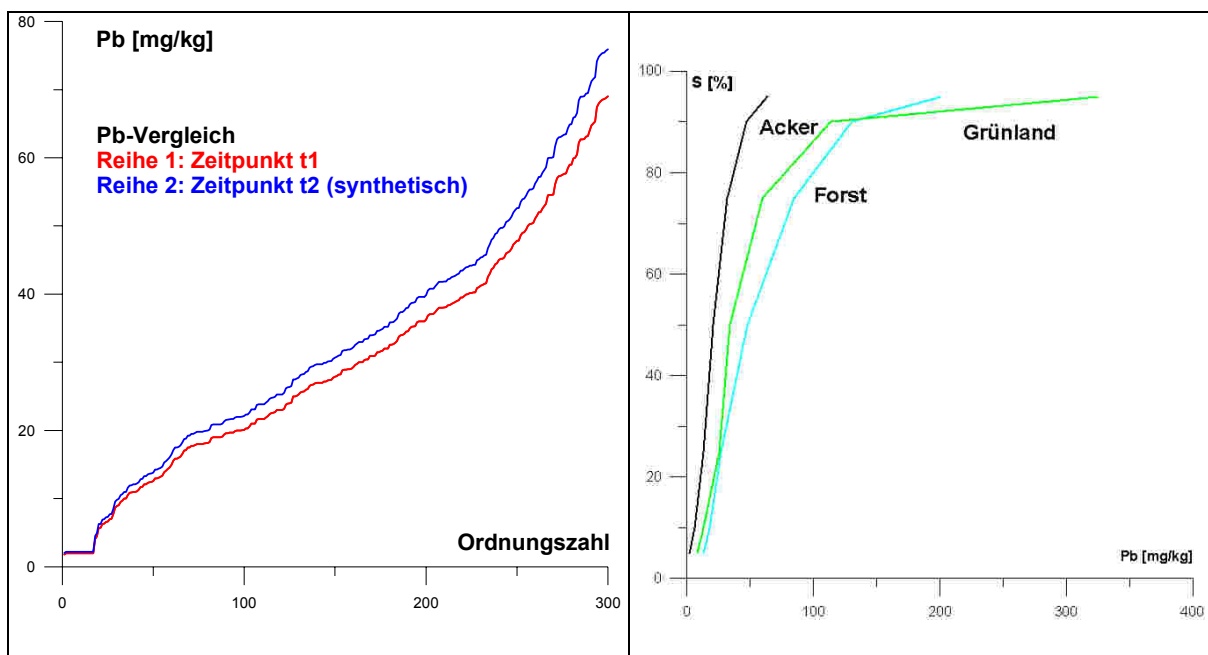


Abb. 32 : Visueller Vergleich von Verteilungsfunktionen (Details s. Text).

Abb. 33 (rechts) zeigt die Verteilungsfunktionen von Pb im Oberboden für die Nutzungen Acker, Forst und Grünland (Stützwerte an den Perzentilwerten 5, 10, 25, 50, 75, 90, 95). Die visuelle Interpretation legt nahe, dass die Verteilungsfunktionen für die Nutzungen Forst und Grünland sich nicht signifikant unterscheiden, wohl aber die von Forst- und Ackernutzung. Ein einfacher Medianvergleich, wie oben beschrieben, zeigt jedoch, dass auch die „benachbarten“ Mediane von Pb für Forst und Grünland auf dem 95%-Niveau signifikant voneinander unterschieden werden können (vgl. Tab. 26).

Tab. 26 : 95%-Vertrauensgrenzen U95 und O95 für die Mediane von Pb im Oberboden für die Nutzung Forst (F) und Grünland (G).

statistische Kenngrößen	Nutzung Forst (F)	Grünland (G)
n	236	156
h	102	65
n-h	134	91
Median	47,5	34,0
U95	43,9	31,0
O95	53,0	42,0

Zu (3):

Um einen Trend zwischen zwei Messreihen nachzuweisen, kann man robuste Verfahren einsetzen, die auf der Analyse der Differenzen von Beobachtungswerten beruhen (hier: Messungen an einer BDF zu verschiedenen Zeitpunkten). Liegt kein Trend vor, so sollte die Zahl der positiven und negativen Differenzen etwa gleich sein. Getestet wird also die Hypothese: Median der Differenzen = 0. Ein einfacher Test ist der Vorzeichentest von McNemar (SACHS, 1972), bei dem die Zahl der positiven und negativen Vorzeichen der Differenzen mit Hilfe eines χ^2 -Tests (mit 1 FG) geprüft wird:

$$\chi^2 = \frac{(|n_{plus} - n_{minus}| - 1)^2}{n_{plus} + n_{minus} + 1}$$

Die Nullhypothese lautet, dass der Anteil der positiven Vorzeichen gleich dem Anteil der negativen Vorzeichen ist, d.h. $p = 0.5$.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass auch für den Trendnachweis eine ausreichende Zahl von Messwertpaaren notwendig ist. Zählt man positive und negative Differenzen, so braucht man zum Nachweis eines Trends bei 12 Wertepaaren ein Verhältnis von 11:1, um auf dem 1% Signifikanzniveau eine Änderung nachzuweisen (SACHS, 1972).

Aus diesem Grunde ist es für Länder, die nur wenige BDF unterhalten, schwer, kleine Änderungen des Bodenzustands mit einer geforderten Aussagesicherheit frühzeitig nachzuweisen. Die länderübergreifende BDF-Datenbasis und das damit verbundene Boden-Monitoring schafft die hierfür notwendigen Voraussetzungen.

Für große Stichprobenzahlen ($n > 30$) kann man den Vorzeichentest mit einer Normalverteilung approximieren:

$$z = \frac{|2x - 1| - 1}{\sqrt{n}},$$

wobei x die beobachtete Häufigkeit des selteneren Vorzeichens bezeichnet, z den Wert der standardisierten Normalverteilung und n die Zahl der Vergleichspaare (vermindert um die Nulldifferenzen) darstellt (SACHS, Kap. 4). Diese Formel kann man für ein gegebenes Signifikanzniveau α und der Probenzahl n nach x auflösen. Für $\alpha = 0,05$ ist $z = 1,96$ und man erhält für das o.a. Beispiel (Median von Pb bei Nutzung Forst) den Wert $x = 133,6$ - im Vergleich zu $h = 134$ - eine perfekte Übereinstimmung. Für die im BDF-Programm zu erwartenden Probenzahlen (Medianwerte an den BDF-Standorten) sind nach diesem Ansatz die Häufigkeiten in Tab. 27 zusammengefasst.

Tab. 27 : Ordnungszahlen für das untere Vertrauensintervall für den Median für Datenzahlen n im Bereich, der im BDF-Programm zu erwarten ist (Signifikanzniveau $\alpha = 5\%$ und 1%).

n	5%	1%
200	86	83
250	109	106
300	133	129
350	156	153
400	180	176
450	204	200
500	228	223

Beispiel: Ein signifikanter Trend liegt vor, wenn bei 200 Vergleichen die Zahl der positiven (oder negativen) Differenzen unter 86 ($\alpha = 5\%$) bzw. 83 ($\alpha = 1\%$) liegt.

Zu (4):

Die PP-Plots der Verteilungsfunktionen der Schwermetalle lassen vermuten, dass sie alle annähernd logonormal verteilt sind. Abb. 33 zeigt exemplarisch die PP-Plots für $\ln(\text{Pb})$ im Oberboden für die Nutzungen Forst (links) und Grünland (rechts). Es liegt deshalb nah, statistische Testverfahren einzusetzen, die auf einer theoretischen Verteilung beruhen, und im Allgemeinen effizienter sind, als verteilungsfreie Testverfahren, wie sie im vorigen Abschnitt beschrieben wurden.

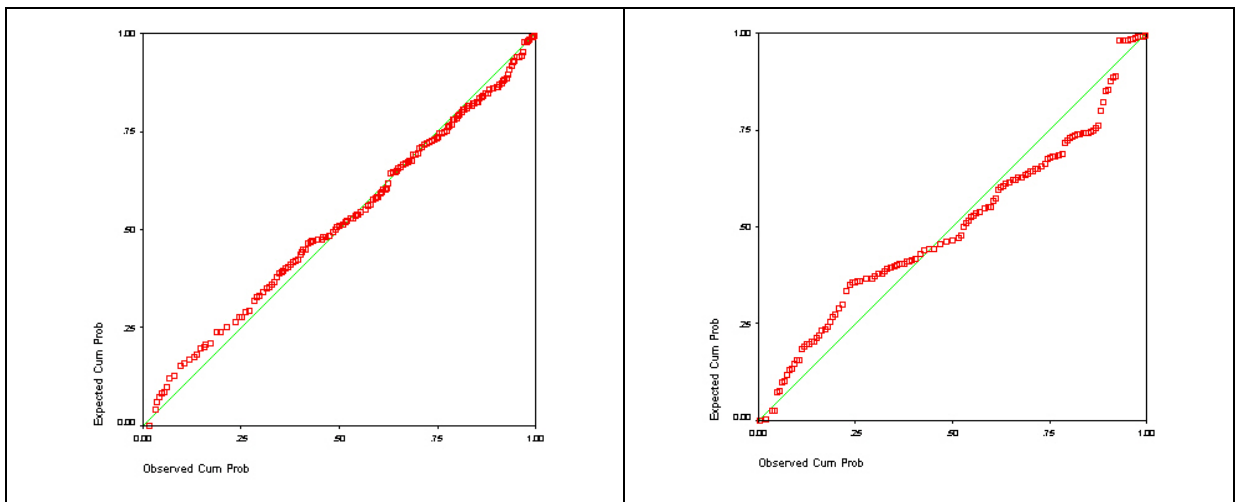


Abb. 33 : PP-Plots von $\log(\text{Pb})$ im Oberboden. Links: Nutzung Forst; rechts: Nutzung Grünland.

Um Vertrauensintervalle für den Median von Pb zu berechnen, werden die Messwerte logarithmiert (Null-Werte müssen dabei speziell behandelt werden – etwa durch Einsetzen der Bestimmungsgrenze). Ist eine Verteilung normal, so kann man in der üblichen Weise die 95%- Vertrauensgrenzen des Erwartungswerts μ berechnen:

$$m - 1.96 * s / \sqrt{n} < \mu < m + 1.96 * s / \sqrt{n} ,$$

wobei n der Umfang der Stichprobe ist, m und s sind Mittelwert und Streuung der logarithmierten Daten. Die Rücktransformation geschieht durch die inverse Operation:

$$e^{m-1.96*s/\sqrt{n}} < M < e^{m+1.96*s/\sqrt{n}} .$$

Für das obige Beispiel (Pb im Oberboden von Forst) ergeben sich folgende Werte:

$$m_{\ln(\text{Pb})} = 3.94, s_{\ln(\text{Pb})} = 0.77, n = 229$$

Der theoretisch zu erwartende Median ist $\exp(3.94) = 51.4$. Das 95% Vertrauensintervall für den Median ist damit

$$U95 = 46.5 < \text{Median} < 56.8 = O95 \text{ [mg Pb]}$$

Der beobachtete Median der Stichprobe liegt bei 47,5 mg Pb – also innerhalb des berechneten Vertrauensintervalls (vgl. Tab. 18). Der Median von Pb im Grünland liegt bei 34 mg Pb (vgl. Tab. 18), ist also signifikant verschieden vom Median von Pb im Forst.

Bemerkung:

Die Breite des 95%-Vertrauensintervalls O95-U95 liegt bei beiden Methoden etwa bei 10, obwohl der verteilungsabhängige Test ein besseres Ergebnis erwarten lassen sollte. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die Abweichung von der Lognormalverteilung – trotz gutem visuellen Fit im PP-Plot – signifikant ist. Vor dem Einsatz der unter (4) beschriebenen Methode muss deshalb geprüft werden (z.B. K-S-Test), ob tatsächlich eine Logonormalverteilung vorliegt. Selbst geringe Abweichungen davon machen sich bei der Rücktransformation über die Exponentialfunktion sehr störend bemerkbar.

8 Schlussfolgerungen und Empfehlungen, weiterer Handlungsbedarf

In diesem Projekt wurde ein einheitlicher, länderübergreifender Statusbericht zum Bodenzustand (Ist-Zustand) an Hand der Daten der Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) der Länder erstellt. Damit liegt dem Umweltbundesamt ein aktueller Boden-Datensatz in digitaler Form entsprechend der 4. Bodenkundlichen Kartieranleitung zu den BDF-Standorten der Länder vor. Dieser bildet eine gute Ausgangsbasis für zukünftige nationale und europäische bodenkundliche Auswertungen sowie zur Feststellung der Entwicklung und der Veränderung der Böden in einem beobachteten Zeithorizont.

Um diese Ausgangsbasis optimal nutzen zu können, müssen bestimmte Aspekte weiterentwickelt und/oder harmonisiert werden. Dazu ist jedoch eine intensive Abstimmung zwischen den Ländern einerseits und zwischen Bund und Ländern andererseits erforderlich. **Der Projektbeirat hält es daher für zweckmäßig, dass die LABO befristet eine ad hoc-Arbeitsgruppe mit Vertretern aus Bund und Ländern einrichtet**, die sich mit der Weiterentwicklung der BDF-Programme der Länder national sowie im Kontext mit der künftigen EU-Monitoring-Richtlinie befasst. Der Handlungsbedarf für diese Arbeitsgruppe wird in den folgenden Abschnitten „Aktualisierung des BDF-Datensatzes“ und „Konzeptionelle Anforderungen im Rahmen des BDF-Programms“ erläutert und als Aufgaben für die zu gründende Arbeitsgruppe aufgezeigt.

Aktualisierung des BDF-Datensatzes

Die Auswertung der Schadstoffgehalte in Oberböden für die Boden-Dauerbeobachtungsflächen erfolgte im Rahmen dieses Vorhabens als eine exemplarische Auswertung. Die Datenbasis reichte für signifikante, auf Bundesebene belastbare Aussagen nicht aus. Für die Bewertung der Daten wurde der Vergleich mit den Vorsorgewerten der BBodSchV unter Berücksichtigung von Bodennutzung und Bodenarten-Hauptgruppe herangezogen.

Für die Auswertung wurden nur Daten des jeweiligen Zeitpunktes der BDF-Einrichtung berücksichtigt. Daher betrug die zeitliche Spanne bei den Untersuchungen mehr als 15 Jahre. Die Altdatenbestände müssen demzufolge hinsichtlich der Vergleichbarkeit zwischen den Ende der achtziger Jahre eingesetzten und den jetzt angewandten, genormten Verfahren überprüft werden. Als Folge der Weiterentwicklung der analytischen Bestimmungsmethoden im Laufe der Zeit traten zudem große Differenzen bei den Bestimmungsgrenzen (BG) innerhalb einer analytischen Methode (KW/ICP) und im Vergleich zu anderen Methoden (RFA) auf, z.B. für einige Schwermetalle. Daher sollten Wiederholungsanalysen bei methodisch bedingt zu hoher Bestimmungsgrenze erfolgen. Beispielsweise müssten für Cadmium alle Analysen, die Gehalte von $< 2 \text{ mg/kg-TM}$ ausweisen, nochmals über die Rückstellproben analysiert werden, da die tatsächlichen Gehalte für Cd in der Regel unter dieser BG liegen.

Für weitere wissenschaftliche bodenkundliche Auswertungen und zur Bewertung von Stoffgehalten der BDF auf Grundlage der Berechnung von Stoffvorräten ist die Nachlieferung von Daten zum Parameter Lagerungsdichte erforderlich. Die statistische Auswertung und Bewertung der Schadstoffgehalte der Schwermetalle erfolgte differenziert nach Bodennutzung und Bodenausgangsgesteins-Gruppen nach UTERMANN et al. (2003). Länderübergreifende Auswertungen hinsichtlich der Horizont-Substratkombinationen und Unterböden konnten bisher nicht vorgenommen werden, da die Datengrundlage dazu nicht ausreichend war.

Aufgrund fehlender Daten konnten die Parameter Arsen, Thallium, PCB, OCP und PAK der BBodSchV nicht länderübergreifend ausgewertet werden, für Quecksilber lagen nur begrenzt Daten vor. Nachzuarbeiten ist auch eine Auswertung der Gehalte an organischem Kohlenstoff und ggf. dem Totalgehalt bzw. dem Gehalt an anorganischem Kohlenstoff.

Der vorliegende BDF-Datensatz kann aber mit wenig Aufwand durch die Mitarbeit der Länder vervollständigt werden, so dass weitere länderübergreifende bzw. Auswertungen im europäischen Kontext vorgenommen werden können.

Handlungsbedarf zur Aktualisierung des BDF-Datensatzes / Aufgaben der künftigen

Ad hoc-AG:

- Vervollständigung des BDF-Datensatzes mit bisher noch nicht gemeldeten BDF.
- Ergänzung, Überprüfung und Vervollständigung der Angaben zu Nutzung, BAG-Gruppen, Bodenarten-Hauptgruppe, zur Zugehörigkeit der BDF-Standorte zu einem bestimmten siedlungsstrukturellen Gebietstyp und zu fehlenden Parameterdaten.
- Nachlieferung von Informationen zu den Standorten entsprechend den Kriterien der LABO (2003) zur Auswertung von Unterböden.
- Überprüfung der Vollständigkeit aller benötigter Daten für die Auswertung von Schadstoffgehalten und von zukünftigen Zeitreihen.
- Überprüfung von Altdaten hinsichtlich ihrer Vergleichbarkeit und ggf. Durchführung erneuter Analysen auf den Gehalt von Schwermetallen mit den derzeit angewandten, genormten Methoden anhand der Rückstellproben der achtziger Jahre.
- Durchführung von Wiederholungsanalysen bei methodisch bedingt zu hoher Bestimmungsgrenze (z.B. für den Parameter Cadmium von Proben mit Gehalten von < 2 mg/kg-TM).
- Ergänzende Untersuchungen zum Parameter Lagerungsdichte in ungestörten Proben der BDF.
- Ausweisung von exakten Horizontgrenzen bei der Beprobung der BDF-Teilflächen.

Konzeptionelle Anforderungen im Rahmen des BDF-Programms

Ausgehend von den vorliegenden Ergebnissen des Projektes sind zur weiteren Vervollständigung des BDF-Programms Abstimmungen innerhalb der Länder bezüglich der bundesweiten und europäischen Anforderungen erforderlich. Zur Verbesserung der Aussagefähigkeit der länderübergreifenden Auswertungen besteht die Notwendigkeit, ein einheitliches länderübergreifendes Konzept zur Standortauswahl mit definierten Repräsentanzkriterien zu erarbeiten. Dabei ist vor allem auch auf die Belastungsrepräsentanz einzugehen. Für jede BDF ist die Kennzeichnung der lokalen Belastungssituation, bzw. eine Information über die angenommene oder prognostizierte Belastung (auch stoffspezifisch) erforderlich.

Für einige Länder wurde in Ermangelung regelgerechter BDF-Daten auf Daten aus den forstlichen Untersuchungsprogrammen zurückgegriffen, um zumindest für die Nutzung Forst Daten in eine länderübergreifende Auswertung einfließen zu lassen. In Kap 3.2 sind

die Bezüge zwischen den Programmen eingehend beschrieben. Im Laufe der Untersuchung zeigte sich wie erwartet, dass eine direkte gemeinsame Auswertung und eine unmittelbare Eingliederung der Level II-Daten in das BDF-Untersuchungsprogramm nicht ohne weiteres möglich ist. Es sind dann zumindest Angleichungen der Probenahme durch Zusatzuntersuchungen erforderlich, wie sie beispielsweise in NRW durchgeführt werden und in RP in der Planung sind. Bei der Zusammenstellung der Flächendaten aus den Ländern, die als Grundlage für jegliche Wiederholungsuntersuchungen dienen sollen, zeigte sich, dass es zum einen kein einheitliches Vorgehen bei der Einrichtung von Teilflächen gibt, sondern die Empfehlungen in den BDF-Richtlinien unterschiedlich ausgelegt werden. Zum anderen werden die Daten dieser Teilflächen auf unterschiedliche Weise aggregiert. Eine einheitliche Behandlung und Auswertung auf Bundesebene wäre nur möglich, wenn entweder alle Einzeldaten vorlägen, oder wenn die Daten verlässlich nach einheitlichen Methoden aggregiert würden. Prinzipiell wäre die Möglichkeit einer einheitlichen, abgestimmten Aggregation für eine rationelle Auswertung auf Bundesebene vorzuziehen.

Ein weiteres Problem für die länderübergreifende Vergleichbarkeit der Daten der BDF ergab sich aus der großen Zeitspanne von 15 Jahren, aus der die Untersuchungen stammen (s.o.). Mit Blick auf geplante Wiederholungsuntersuchungen besteht hier die Möglichkeit einer besseren Synchronisation.

Für weitere zukünftige länderübergreifende bodenkundliche Auswertungen (auch im europäischen Kontext) ist die Harmonisierung der Untersuchungsmethoden eine notwendige Voraussetzung. Die Ergebnisse des Projektes zeigen, dass die Ausweisung von Normen und Methoden nicht ausreichend für die Validierung der Ergebnisse ist. Maßnahmen zur Qualitätssicherung für die angewandten Verfahren in den Laboren, z.B. laborexterne und interne Richtigkeitskontrollen, müssen in zukünftige Auswertungen als Basis für einheitliche Bewertungen integriert werden. Dazu gehören die Durchführung von zentralen Ringversuchen und die Aufnahme von Verfahrenskennndaten bei der Dokumentation der Ergebnisse. Als Beispiel kann hierfür vor allem das Vorgehen im Rahmen der Arbeiten zum forstlichen Monitoring, Level I und Level II, gesehen werden. Es wird angeregt, für die Fortführung des BDF-Programmes eine ähnliche Vorgehensweise in Erwägung zu ziehen, wie sie von Vertretern des Forstlichen Monitoring auf dem Workshop zur Boden-Dauerbeobachtung in Deutschland (Zitat UBA-Texte „Boden-Dauerbeobachtung in Deutschland - Ergebnisse aus den Ländern“ (UBA-Texte Nr. 66/2002) vorgestellt wurde.

Da für einige organische Parameter aufgrund der Anwendungs- und Herstellungsverbote aus den achtziger Jahren mit den ausgewiesenen Verfahren keine Gehalte in den Böden bestimmt werden konnten (chlororganische Verbindungen wie PCB und OCP), sollte die Parameterliste der BDF bezüglich der Aktualität überprüft werden. Andere organische Schadstoffe haben aufgrund ihrer jährlichen Mengenanwendung, ihres Transportverhaltens und ihrer ökotoxikologischen Wirkung eine höhere Umweltrelevanz, z.B. die Phthalate.

Die BDF könnten auch für Fragestellungen der Klimapolitik von Interesse sein, speziell für Untersuchungen zur (nachhaltig langfristigen) CO₂-Senkenfunktion von Böden¹.

Handlungsbedarf zu konzeptionellen Anforderungen / Aufgaben der künftigen Ad hoc-AG:

- Auswahl der Thematik von länderübergreifenden Auswertungen.
- Festlegen eines Mindestdatensatzes für länderübergreifende Auswertungen von Boden-Dauerbeobachtungsflächen und Überprüfung der Relevanz der Parameterliste des BDF-Programms.
- Erarbeiten von definierten Repräsentanzkriterien für die Standortauswahl der Boden-Dauerbeobachtung für länderübergreifende Auswertungen.
- Harmonisierung der Untersuchungsmethoden und der analytischen Prüfverfahren.
- Harmonisierung der Aggregationsmethodik der BDF-Daten der Länder als Voraussetzung für die länderübergreifende statistische Auswertung von Zeitreihen der Bodenparameter unter Berücksichtigung der Datenvariabilität an den BDF-Standorten.

¹ Diese Untersuchungen sollten die Anforderungen von Klimamodellen berücksichtigen. Boden-Dauerbeobachtungsflächen, an denen auch meteorologische Daten erhoben werden, sind dafür auch hinsichtlich ihrer klimatischen Repräsentanz prädestiniert, da sie zu unterschiedlichen Klimagebieten in Deutschland gehören. Speicherung und Transport von in den Boden gelangten Stoffen sind neben Reliefeigenschaften insbesondere von den Porenraumeigenschaften und den klimatischen Verhältnissen (Niederschläge, Temperaturen) abhängig. In den Umgebungen der Standorte sind häufig unterschiedliche Bodenformen bei nahezu gleichen klimatischen Bedingungen vertreten. Damit wird es möglich, räumlich konzentrierte Bodenforschung mit z.T. bereits langjährig vorliegenden meteorologischen Erhebungen zu verbinden. Unter Verwendung von kalibrierten und langjährig getesteten Wasserhaushalts- und Klimamodellen ist es möglich, Fragestellungen zu den voraussichtlichen Auswirkungen eines möglichen Klimawandels vertieft zu bearbeiten. Hohe umweltpolitische Bedeutung haben dabei Prognosen zur Entwicklung und Häufung von Trockenstressereignissen und zur Ausbildung von Kohlenstoffsinken in den nächsten Jahrzehnten vor allem für die Land- und Forstwirtschaft.

- Durchführung von methodischen Abstimmungen zum Forstlichen Monitoring Level-II- und Einbeziehung dieser Daten bei bundesweiten und europäischen Auswertungen zur Boden-Dauerbeobachtung.
- Einbeziehung von Maßnahmen der Qualitätssicherung bei der Bestimmung der Parameter als Basis für einheitliche Bewertungen und zur Überprüfung der Datenkonsistenz der Parameter.
- Erarbeiten einheitlicher Zielvorgaben beim länderübergreifenden Monitoring hinsichtlich des Umgangs mit unterschiedlichen Untersuchungszeiträumen bei der Durchführung von Wiederholungsuntersuchungen in den Ländern.
- Festlegen des jahreszeitlichen Untersuchungszeitraums für die Parameter Biomasse und Basalatmung.
- Bereitstellen von BDF-Daten für Auswertungsfragen anderer Umweltbereiche / Umweltprogramme (CO₂-Senkenfunktion, GVO-Monitoring, naturschutzbezogenes Monitoring).

9 Zusammenfassung der Ergebnisse

Anhand der Daten der Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) der Länder konnte ein einheitlicher länderübergreifender Bericht zum Bodenzustand an den Boden-Dauerbeobachtungs-Standorten im Sinne einer Statuserhebung erstellt werden. Die in den Bundesländern erhobenen Daten der BDF wurden in einem bundesweiten Datensatz zusammengetragen, nach der 4. Kartieranleitung (KA 4) harmonisiert und nach den Vorgaben der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) ausgewertet. Die vorgenommenen Auswertungen belegen, dass sich BDF-Datensätze unterschiedlicher Herkunft zur Beschreibung des Bodenzustandes zusammenführen lassen, wenn Mindestanforderungen an Inhalt und Qualität der Daten konsequent eingehalten werden.

In der Statuserhebung erfolgten länderübergreifende parameterorientierte Darstellungen von Stoffgehalten im Oberboden differenziert nach pedogenen Merkmalen und der Bodennutzung zum jeweiligen Zeitpunkt der Einrichtung der BDF. Ein vergleichbarer bodenkundlicher Bezug zur geologisch / pedologischen Grundcharakteristik für die BDF-Standorte und somit für eine einheitliche Klassifikation der Daten wurde mittels der KA 4 hergestellt. Darin eingeschlossen war die Dokumentation der profil- und horizontbezogenen BDF-Daten nach dem Formblatt der KA 4 in einer dafür entwickelten Datenbank mittels Microsoft Access-2000.

Im Einzelnen erfolgten detaillierte statistische Auswertungen mit den Flächendaten der BDF zu den Schwermetallgehalten differenziert nach Bodennutzung, Bodenarten-Hauptgruppen und den Bodenausgangsgesteins-Gruppen nach UTERMANN et al. (1999). Für die vorgenommenen statistischen Auswertungen waren die Verteilungsfunktionen der logarithmierten Werte aller Schwermetallgehalte des länderübergreifenden Datensatzes angenähert normal.

Bei der nutzungsdifferenzierten Auswertung traten bei Cd, Ni und Pb jedoch deutliche Abweichungen von der Logonormalverteilung auf. Die Cd-, Cu-, Ni- und Zn-Werte der Grünlandproben wiesen gegenüber denen der Acker- und Forstnutzung nahezu doppelte Gehalte auf. Diese Ergebnisse sind auf die unterschiedlichen Eintragspfade bei der Bodennutzung (z.B. Gülle, Klärschlamm, Luftdepositionen) sowie den geogenen und nutzungsbedingten Besonderheiten bei der Auswahl der Standorte nach den Repräsentanzkriterien zurückzuführen. Auffallend sind die hohen Pb-Werte bei der Nutzung Forst und die Zink-Werte auf Grünland. Die ermittelten Werte von 4,05 und 4,82 Masse-% (Median) beim Kohlenstoffgehalt (Total) für die Nutzungen Forst und Grünland ordnen sich gut in Literaturwerte ein.

Die tiefenorientierte statistische Auswertung und Bewertung der anorganischen Schadstoffgehalte in Oberböden erfolgte nach den Vorsorgewerten der BBodSchV, Tab 4.1: Vorsorgewerte für Metalle, unter Berücksichtigung der Bodenarten-Hauptgruppen in Form von Box-Whisker-Plots. Sie zeigen die Variabilität der Schwermetallgehalte differenziert nach den Vorgaben der BBodSchV auf. Die Medianwerte der Schwermetallgehalte lagen erwartungsgemäß unter den Vorsorgewerten der BBodSchV. Eine Ausnahme bildete Quecksilber für die Bodenarten-Hauptgruppe Sand, hier liegt der Median beim Vorsorgewert.

Bei der Nutzung sind die hohen Zn-Werte der Grünflächen und die hohen Pb-Werte bei den Forstflächen auffallend. Deren Pb-Werte sind in allen Bodenarten-Hauptgruppen höher als bei den anderen Nutzungsarten, so dass dieser erhöhte Pb-Gehalt ein wesentliches Charakteristikum der Forstflächen darstellt. Generell trat wie erwartet eine Abstufung der Schwermetallgehalte bei den Bodenarten-Hauptgruppen Sand < Lehm/Schluff < Ton auf.

Es wurde auch ein Vergleich der Schwermetallgehalte zu den Hintergrundwerten (HGW) der LABO (2003) differenziert nach Nutzung und Bodenausgangsgesteins-Gruppen in ihrer Klassifikation nach UTERMANN et al. (1999) vorgenommen. Die Übereinstimmung ist für alle Gesteinsgruppen und Parameter sehr gut. Die Stoffgehalte der BDF-Standorte liegen im Bereich der HGW.

Zur Darstellung der räumlichen Verteilung wurden die Stoffgehalte der BDF-Standorte in verschiedenen Übersichtskarten Deutschlands in Punktform unter Berücksichtigung von Klassifizierungen und nach den Kriterien für die Standortauswahl nach BARTH et al. (2001) „BDF mit Standortrepräsentanz“ und „BDF mit Belastungsrepräsentanz“ dargestellt.

Eine ausführliche statistische Betrachtung des BDF-Datensatzes wurde vorgenommen, um zukünftig mit den BDF-Daten zeitliche Veränderungen des Bodenzustands in Deutschland erfassen zu können.

Den Vorgaben der von der Umweltministerkonferenz verabschiedeten Verwaltungsvereinbarung, Anhang II 4 (VwV DATENAUSTAUSCH, 1994) bezüglich Datenaustausch, -zugriff und -schutz der BDF-Daten der Länder wurde entsprochen. Dem dort ausgewiesenen Prinzip der Gegenseitigkeit entsprechend, steht der beim Bund jetzt vorliegende Datensatz der BDF den Ländern zur Bearbeitung bodenschutzrelevanter Fragen zur Verfügung.

10 Literatur

- AD-HOC-AG BODEN (1998): Labormethoden-Dokumentation Bodenkunde. Arbeitsanleitung für die Untersuchung von Böden, Hannover.
- AG BODEN - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Ämter der Bundesrepublik Deutschland (1982): Bodenkundliche Kartieranleitung, 3. verbesserte und erweiterte Auflage, Hannover.
- AG BODEN - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Ämter der Bundesrepublik Deutschland (1996): Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. verbesserte und erweiterte Auflage, Hannover.
- ALTERMANN, M.; KÜHN, D. (1999): Systematik der bodenbildenden Substrate. in: Blume, H.-P.; Felix-Henningsen, P.; Fischer, W. R.; Frede, H.-G.; Horn, R.; Stahr, K. (Hrsg.) Handbuch der Bodenkunde 6. Erg. Lfg. 7/99. – Landsberg/Lech.
- BARTH, N.; BRANDTNER, W.; CORDSEN, E.; DANN, T.; EMMERICH, K.-H.; FELDHAUS, D.; KLEEFISCH, B.; SCHILLING, B.; UTERMANN, J. (2001): Boden-Dauerbeobachtung, Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen. In: Bodenschutz: Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden. Hrsg.: Rosenkranz, D.; Bachmann, G.; König, W.; Einsele, G.
- BAURIEGEL, A. (2000): Flächenbodenformenarchiv für das Land Brandenburg. in: BAURIEGEL, A.; ILSEMAN, J.; MICHEL, CHR.: Boden- Objekt menschlicher Forschung. Horizonte – Herrenhäuser Forschungsbeiträge zur Bodenkunde. Bd.3 107-118. Institut für Bodenkunde der Universität Hannover.
- BBodSchG - Bundes-Bodenschutzgesetz (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten vom 17. März 1998. Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 16, 502-510; Bonn.
- BBodSchV - Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (1999): Verordnung zur Durchführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes vom 12. Juli 1999. Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 36, 1554-1582; Bonn.
- DAVID, H.A. (1981): Order statistics. Wiley, 2nd ed., 360 p.
- HUSCHEK, G.; KAYSER, M. (2002): Untersuchung der Böden im direkten Umfeld der UBA-Messnetz-Standorte in den neuen Ländern zur Vervollständigung des bundesweiten Umweltbeobachtungsnetzes im Hinblick auf ein integriertes und repräsentatives Monitoring. UBA-Texte 72/03. Berlin.

- ICP FORESTS, 1998: United Nations Economic Commission for Europe, Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests: Manual on Methods and Criteria for Harmonized Sampling, Assessment, Monitoring and Analysis of the Effects of Air Pollution on Forests, Federal Research Centre for Forestry and Forest Products (BFH), 4th edition, Hamburg.
- LABO – Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Boden (2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. 3. überarbeitete und ergänzte Auflage.
- LORENZ, M., SEIDLING, W., MUES, V., BECHER, G., FISCHER, R. (2001). Forest Condition in Europe, European Commission, Technical Report 2001.
- RIEK, W.; WESSOLEK, G.; RENGGER, M.; VERTTERLEIN, E. (1995): Luftkapazität, nutzbare Feldkapazität und Feldkapazität von Substrat-Horizontgruppen – eine statistische Auswertung von Labordatenbanken. Z. Pfl.ernähr. Bodenk. 158, 485-491.
- SACHS, L. (1972). Statistische Auswertungsmethoden. Springer Verlag, 3. Auflage, 545 S.
- SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P. (1998). Lehrbuch der Bodenkunde. Hrsg.: Schachtschabel, P., Blume, H.-P., Brümmer, G., Hartge, K.H., Schwertmann, U.. 14. Aufl., Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- SAG, 1991. Sonderarbeitsgruppe Informationsgrundlagen Bodenschutz der UMK (1991): Bericht der UAG Boden-Dauerbeobachtungsflächen. Arbeitshefte Bodenschutz 1, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg).
- SPATZ, 2001. Möglichkeiten der länderübergreifenden Auswertung an Standorten der Boden-Dauerbeobachtung. UBA-Texte 22/01. Hrsg.: Umweltbundesamt, Berlin.
- UTERMANN, J., DÜWEL, O., FUCHS, M., GÄBLER, H., GEHRT, E., HINDEL, R., SCHNEIDER, J. (1999). Methodische Anforderungen an die Flächenrepräsentanz von Hintergrundwerten in Oberböden. Forschungsbericht 29771010, Umweltbundesamt Berlin (UBA-FB 99-066).
- VWV DATENAUSTAUSCH, 1994. Verwaltungsvereinbarung zwischen Bund und Ländern über den Datenaustausch im Umweltbereich. Anhang II. 4 „Austausch von bodenschutzrelevanten Daten". Verabschiedet auf der UMK.

DIN ISO 10381-1, Ausgabe:2003-08

Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 1: Anleitung zur Aufstellung von
Probenahmeprogrammen (ISO 10381-1:2002)

DIN ISO 10381-2, Ausgabe:2003-08

Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 2: Anleitung für Probenahmeverfahren
(ISO 10381-2:2002)

DIN ISO 10381-4, Ausgabe:1996-02 (Norm-Entwurf)

Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 4: Anleitung für das Vorgehen bei der
Untersuchung von natürlichen, naturnahen und Kulturstandorten (ISO/DIS 10381-
4:1995)

DIN ISO 10381-5, Ausgabe:1998-12 (Norm-Entwurf)

Bodenbeschaffenheit - Probenahme - Teil 5: Anleitung für das Vorgehen bei der
Untersuchung von Bodenkontaminationen auf urbanen und industriellen Standorten
(ISO/DIS 10381-5)

DIN ISO 11464, Ausgabe:1996-12

Bodenbeschaffenheit - Probenvorbehandlung für physikalisch-chemische
Untersuchungen (ISO 11464:1994)

DIN 19737, Ausgabe:2001-04

Bodenbeschaffenheit - Laborverfahren zur Bestimmung der mikrobiellen
Bodenatmung